

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Problematika trhacích prací při ražbě
podzemních staveb**
**The Issue of Blasting during Excavation of
Underground Structures**

Student:

Bc. Kubek Jan

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Stolárik Martin, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Jan Kubek

Studijní program:

N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607T035 Geotechnika

Téma:

Problematika trhacích prací při ražbě podzemních staveb
The Issue of Blasting during Excavation of Underground Structures

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod

Rešerše

Návrh technologie trhacích prací

Posouzení vlivu trhacích prací na okolní prostředí

Návrh alternativního rozpojování hornin

Závěry

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KALÁB, Z. *Seismická měření v geotechnice*. Monografie. 2008, Ostrava. ISBN 978-80-2481795-5
2. PANDULA, B. a KONDELA, J. *Metodologia seismiky trhacích prací*. DEKI Design, 2010, Košice. ISBN 978-80-970265-0-9
3. PRAVDA, V. a BĚTÍK, J. *Trhací práce v hornictví stavebnictví a speleologii*. Montanika o.s., ISBN: 978-80-254-8542-2
4. SARSBY, R. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Limited, 2000, London. ISBN 978-0727727527
5. TOWHATA, I. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer, 2008. Berlin. ISBN 978-3-540-35783-4
6. ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva, Český normalizační institut, 1996, Praha.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolárik, Ph.D.**

Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

Podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřou licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Podpis studenta

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří přispěli ke zpracování této diplomové práce. Především panu Vladimíru Pravdovi a Ing. Martinu Stolárikovi, Ph.D. za svědomité vedení, věcné rady a připomínky, za poskytnutí velkého množství materiálů, rad a poznatků o trhacích pracích, bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

Anotace

Diplomová práce se zabývá trhacími pracemi při ražbě podzemních staveb. Cílem práce je porovnání různých metod návrhu trhacích prací a nevýbušného expanzního rozpojování v oblasti technické a ekonomické.

V rešeršní části práce jsou popsány nežádoucí účinky trhacích prací. Velký důraz je kladen na seismicitu indukovanou trhacími pracemi. Dále jsou vypsány způsoby roznětu trhavin a metody výpočtu hmotnosti nálože pro trhací práce podle Mečírě-Válka, Langeforse a Olofssona.

Praktická část této práce obsahuje tři kapitoly. První se zabývá aplikací návrhových metod trhacích prací na stavbě „Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská“. Dále se zabývá ochranou objektů v okolí stavby proti nežádoucím vlivům trhacích prací. Stanovuje maximální přípustné seismické zatížení objektů a způsoby ochrany proti rozletu.

V druhé kapitole praktické části je zpracován návrh expanzní neexplozivní metody rozpojování pomocí expandéru AUTOSTEM I. Součástí tohoto návrhu je výpočet možného seismického zatížení objektů okolních objektů a výpočet potřebné hmotnosti pyrotechnické složky k rozpojení daného záběru. Součástí je vypracované vrtné schéma s pasportem.

V poslední kapitole je zpracován orientační rozpočet pro trhací práce navrhnuté jednotlivými metodami (Mečír-Válek, Langefors, Olofsson) a rozpočet pro rozpojování pomocí expandéru AUTOSTEM I.

Klíčová slova: rozpojování hornin, trhací práce, trhavina, rozbuška, seismický účinek, rozlet, zálom, tunel, AUTOSTEM, měření

Annotation

The graduate thesis deals with blasting during excavation of underground structures. The aim is to compare different methods for the design of blasting and non-detonating expansion disintegration in technical and economic aspects.

The search section of thesis describes the negative effects of blasting. The most important part is the seismicity induced by blasting. Then there are ways of firing explosives and method of calculating the weight of charges for blasting invented by Mečír-Válek, Langefors and Olofsson.

The practical part contains three chapters. The first deals with the application of design methods of blasting on the construction "Reconstruction of sewer on the street Českobrodská". It also deals with the protection of buildings near the construction against negative effects of blasting. The maximum allowable seismic load buildings and methods of protection against throw.

In the second chapter of the practical part is designed project of non-detonating excavation of tunnel using the non-detonating cartridges AUTOSTEM I. This proposal includes a calculation of the potential seismic load of surrounding objects and calculate the necessary weights of pyrotechnics charge for rock breaking. The project includes the drilling pattern drawn and the passport.

In the last chapter of thesis is drafted the budget for blasting proposed by each method (Mečír-Válek, Langefors and Olofsson) and the budget for disintegration using the non-detonating cartridges AUTOSTEM I.

Keywords: rock breaking, blasting, explosive, detonator, seismic effect, throw, cut, tunnel, AUTOSTEM, measurement

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	9
Úvod.....	10
1 Teoretická část.....	12
1.1 Seismika trhacích prací	12
1.2 Princip výbuchu a šíření seismických vln vyvolaných výbuchem	14
1.3 Měření otřesů způsobených trhacími pracemi	16
1.4 Ohrožení stavebních objektů nežádoucími účinky trhacích prací	17
1.5 Běžné metody roznětu používané v České republice.....	20
1.5.1 Elektrický roznět.....	20
1.5.2 Neelektrický roznět.....	23
1.5.3 Elektronický roznět.....	25
1.6 Dimenzování nálože.....	26
1.6.1 Dimenzování nálože podle Mečíře – Válka.....	27
1.6.1 Dimenzování nálože podle Langeforse.....	30
1.6.2 Dimenzování nálože podle Olofssona	33
2 Návrh trhacích prací pro stavbu Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská	38
2.1 Popis stavby	38
2.2 Složení a vlastnosti horninového prostředí v daném úseku	41
2.3 Nežádoucí účinky trhacích prací.....	46
2.4 Návrh trhacích prací.....	48
2.4.1 Výpočet nálože podle modifikovaného Mečíře-Válka	50
2.4.1 Výpočet nálože podle Langeforse.....	52
2.4.2 Výpočet nálože podle Olofssona	55
3 Použití expanzního (neexplozivního) rozpojování GBT	58
3.1 Způsoby roznětu.....	59
3.2 Nežádoucí účinky.....	62
3.3 Návrh expanzního (neexplozivního) rozpojení.....	63
4 Porovnání ceny konvenčních trhacích prací a nevýbušného expanzního rozpojování	67

Závěr.....	69
Použité zdroje.....	71
Seznam obrázků	73
Seznam grafů.....	74
Seznam tabulek	75
Seznam rovnic	76

Seznam použitých zkratek

GBT	Green Break Technology Cartridge
OBÚ	Obvodní báňský úřad
el.	elektrický
TŠ	těžní šachta
c_p	rychlost šíření podélných vln [m.s^{-1}]
c_s	rychlost šíření příčných vln [m.s^{-1}]
c_R	rychlost šíření Rayleigho vln [m.s^{-1}]
m_n	hmotnost ekvivalentní nálože [kg]
V_p	rychlost kmitání hmotného bodu [mm.s^{-1}]
m_n	ekvivalentní hmotnost nálože [kg]
P_{\max}	akustický tlak [kPa]
r_b	orientační poloměr bezpečnostního okruhu [m]
N_c	hmotnost celkové nálože [kg]
W_{\max}	maximální směrný odpor (odporová úsečka Mečíř-Válek) [m]
V	maximální směrný odpor (odporová úsečka Langefors) [m]
B	maximální směrný odpor (odporová úsečka Olofsson) [m]
N_z	Hmotnost nálože pro zálom [kg]
q	měrná spotřeba trhavin - [kg/m^3]
R_c	odpor roznětného vedení [Ω]

Úvod

Trhací práce se při ražbách podzemních staveb využívají ve velké míře hlavně v pevnějších horninách. Během posledních padesáti let došlo k jejich velkému vývoji. Na území České republiky trhací práce podléhají vyhlášce Českého báňského úřadu č. 72/1988 Sb. z dne 29. dubna 1988. Pro každé trhací práce musí být vždy zpracována dokumentace. Pro trhací práce malého rozsahu postačuje pouze technologický postup, jehož náležitosti jsou přesně vymezeny v příloze číslo 4 dané vyhlášky.

Cílem diplomové práce je porovnání různých metod návrhu trhacích prací a nevýbušného expanzního rozpojování v oblasti technické (seismické zatížení okolí místa rozpojování, potřebný počet vývrtů, potřebná hmotnost trhaviny nebo slože na jeden záběr) a ekonomické (cena rozpojování).

Rešeršní část práce zahrnuje několik podkapitol. Úvodní podkapitola shrnuje informace o seismicitě způsobené trhacími pracemi (typy seismických vln a jejich šíření, měření otřesů a výpočet intenzity seismického zatížení). V další podkapitole jsou uvedeny ostatní nežádoucí účinky způsobené trhacími pracemi. Následně jsou popsány možnosti iniciace trhaviny a to pomocí elektrických, neelektrických a elektronických rozbušek a jejich vliv na seismické zatížení. V závěru rešeršní části jsou uvedeny tři metody výpočtu nálože pro ražbu podzemních děl. První metoda pochází od autorů Romana Mečíře a Dušana Válka, jejichž modifikovaná verze se ve velké míře používá při projektování trhacích prací malého rozsahu na stavbách společnosti Metrostav a.s. Druhá metoda pochází od švédského autora Ulfa Langeforse, který položil základy moderních trhacích prací. Třetí uvedenou metodou je metoda podle švédského autora Stiga O. Olofssona, jenž na vysoké úrovni zpracoval trhací práce v severských podmínkách pro pevné kompaktní horniny a jeho návrhové metody jsou hojně využívány při projektování trhacích prací na ražbách tunelů na Islandu, v Norsku a Finsku.

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem metod rozpojování horniny při ražbě na stavbě „Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská“. Obsahuje popis stavby, horninového prostředí v místě stavby a některé náležitosti technologického postupu pro provádění trhacích prací. Mezi tyto náležitosti patří ochrana proti nežádoucím účinkům trhacích prací (rozlet a seismicity), stanovení způsobu roznětu, výpočet hmotnosti nálože a návrh vrtných schémat pro rozpojení požadovaného záběru, podle tří metod rozepsaných v rešeršní části práce. Tyto metody jsou v závěru práce porovnány.

Jako alternativní metoda rozpojování čelby na stavbě „Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská“ je navrženo expanzní neexplozivní rozpojování pomocí expandérů

AUTOSTEM I (pyrotechnický výrobek pro technické účely). Pro rozpojování materiálů pomocí expandérů nemusí být zpracována žádná dokumentace. Vypracovávají se proto jen zjednodušené technologické postupy. Návrh rozpojování expandérem obsahuje výpočet seismického zatížení okolí (pouze orientační), výpočet hmotnosti expandérů potřebných k rozpojení čelby (s návrhem vrtného schématu a jeho časování) a výpočet jistoty elektrického roznětu.

V závěrečné kapitole diplomové práce je vytvořena orientační cenová kalkulace pro tři vypočtené návrhy trhacích prací a pro expanzní neexplozivní rozpojování.

1 Teoretická část

1.1 Seismika trhacích prací

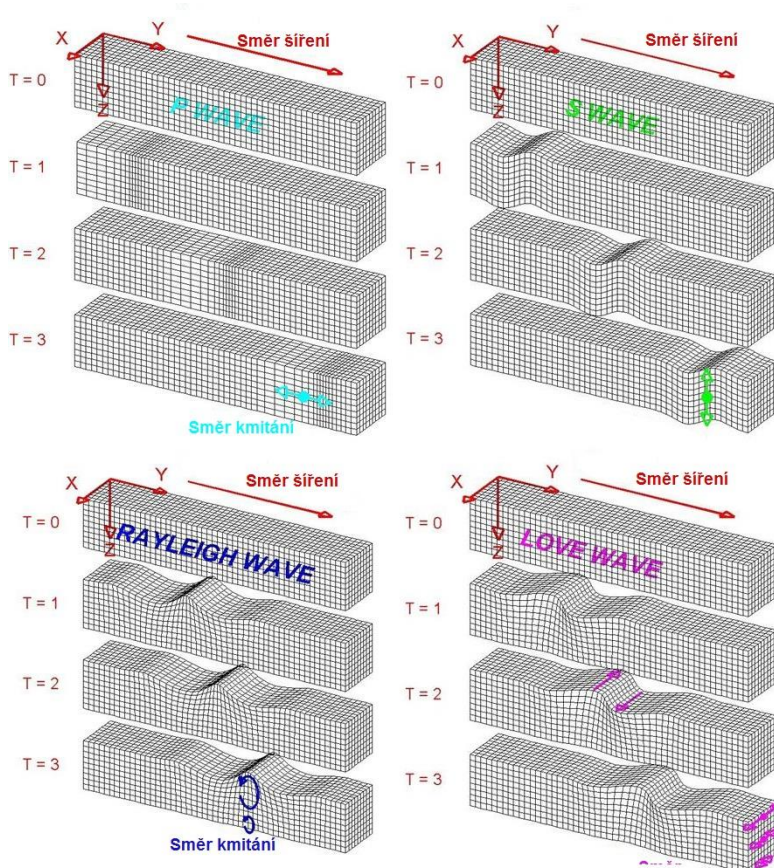
Obecně se seismicita dělí na tři skupiny podle původu jejího vzniku. První skupina je přirozená seismicita, která zahrnuje zemětřesení a všechny následky procesů v zemské kůře nevyvolané člověkem. Druhá skupina se nazývá indukovaná seismicita a řadí se do ní geodynamické projevy vzniklé náhlým přerozdělováním napětí v zemské kůře. Tyto projevy vyvolává většinou hlubinná nebo povrchová těžba nerostných surovin a také čerpání ropy, zemních plynů a podzemních vod. Třetí skupina – technická seismicita zahrnuje veškeré otřesy vyvolané umělým zdrojem (automobilová a kolejová doprava, strojírenství, činnosti při stavebních pracích, trhací práce atd...). [1]

V rámci zkoumání seismického působení trhacích prací hodnotíme a zkoumáme tři základní body. Zdroj otřesů (hypocentrum), přenosové prostředí a receptor. Receptor – místo působení seismických vln, v praxi většinou nějaká konstrukce. Zdroj otřesů – místo, kde vznikají seismické vlny. Dělí se na spojitý a nespojitý. U spojitého vznikají periodické otřesy, při nichž tlumení nestačí uvést receptor do klidové polohy. Mezi spojitě zdroje můžeme zařadit například otřesy způsobené dopravními prostředky (automobily, vlaky, tramvaje...). Nespojitě zdroje vytváří jeden nebo více impulzů, mezi kterými se receptor dokáže ustálit do klidové polohy. Mezi nespojitě zdroje bez opakování patří právě výbuch nálože. Přenosové prostředí - prostor mezi zdrojem a receptorem. Pro jeho zkoumání musí dojít k jeho teoretickému zjednodušení, musí platit tyto předpoklady: považujeme ho za souvislé kontinuum, posunutí a deformace jsou jen velice malé, je ho možné vyjádřit Hookovým zákonem (jedná se tedy o ideálně pružné prostředí) šíření pružných vln v něm se řídí s dostatečnou přesností zákony klasické mechaniky. [2]

Z hypocentra (místa výbuchu) se spojitým homogenním izotropním prostředím šíří všemi směry dva druhy objemových elastických vln. První jsou podélné (normálové) P vlny, šířící se jednosměrným dilatačním a kompresním napětím, způsobujícím pouze objemovou deformaci střídáním dilatace a komprese v podélném směru šíření vlny (oscilace částic okolo pevného bodu ve směru šíření vln). A jako druhé následují příčné (tangenciální, smykové) S vlny, šířící se střížným napětím ve směru kolmém na směr dráhy vlny, dochází u nich pouze k střížným deformacím (oscilace částic v rovině kolmé na směr dráhy vlny). V trojrozměrném prostoru se zavádí dva kolmé směry na trajektorii šíření vlny a to horizontální SH a vertikální SV. Rychlost

šíření vln závisí pouze na elastických parametrech prostředí. Rychlost P vln je vždy větší než rychlost S vln. [1]

Poměry ve spojitém homogenním izotropním poloprostoru stýkajícím se rovinným rozhraním s jiným poloprostorem odlišných parametrů (například vzduch) jsou jiné. Od místa výbuchu se vlnění také šíří všemi směry, ale při jejich dopadu na rozhraní dochází ke kmitavému pohybu a vzniku dalších typů vln. Ty se šíří pouze v blízkosti povrchu, nazývají se povrchové a podle charakteru se mezi nimi rozeznávají Rayleighovy R a Loveho L vlny. Rychlost Rayleighových vln je vždy menší než rychlost S vln. Trajektorie pohybu částic u této vlny má eliptický tvar a je kolmá na směr šíření vlny. Amplitudy této vlny se exponenciálně snižují se vzdáleností od rozhraní (povrchu). Aby se daly vystihnout nehomogenní podmínky zemské kůry, musí být pro zjednodušení zavedeny tzv. vrstvy. Tento pojem označuje trojrozměrný útvar o konečné tloušťce a nekonečné délce a šířce odlišující se od svého nadloží a podloží vlastnostmi mající vliv na šíření vlnění. Předpokládáme, že obě rozhraní vrstev jsou rovinná. Za těchto stanovených podmínek vznikají v rovině ohraničující danou vrstvu Loveho vlny. Rychlost Loveho vln není konstantní, proto dochází k disperzi tohoto typu vln. Srovnání principu šíření čtyř základních seismických vln je zobrazen na obrázku 1. [2]

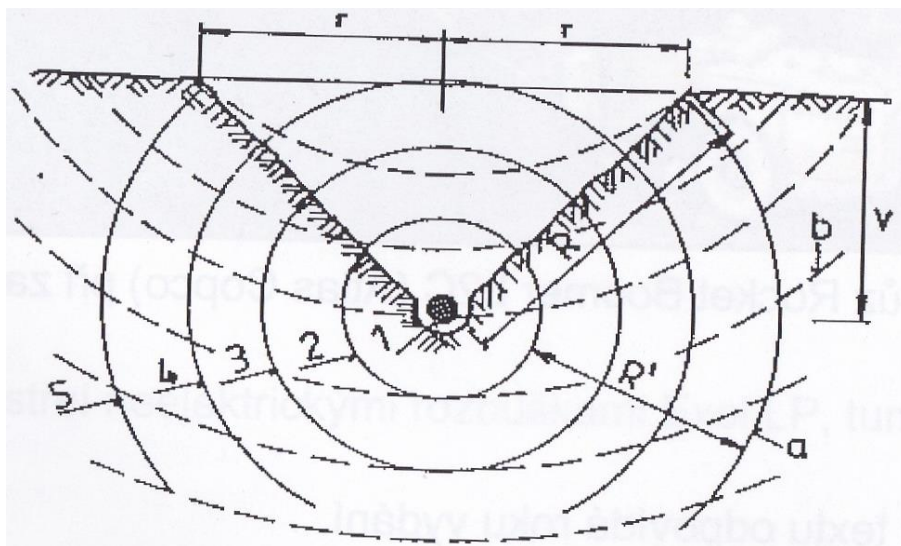


Obr. 1 Schéma šíření P vln, S vln, Rayleighových vln a Loveho vln [2]

1.2 Princip výbuchu a šíření seismických vln vyvolaných výbuchem

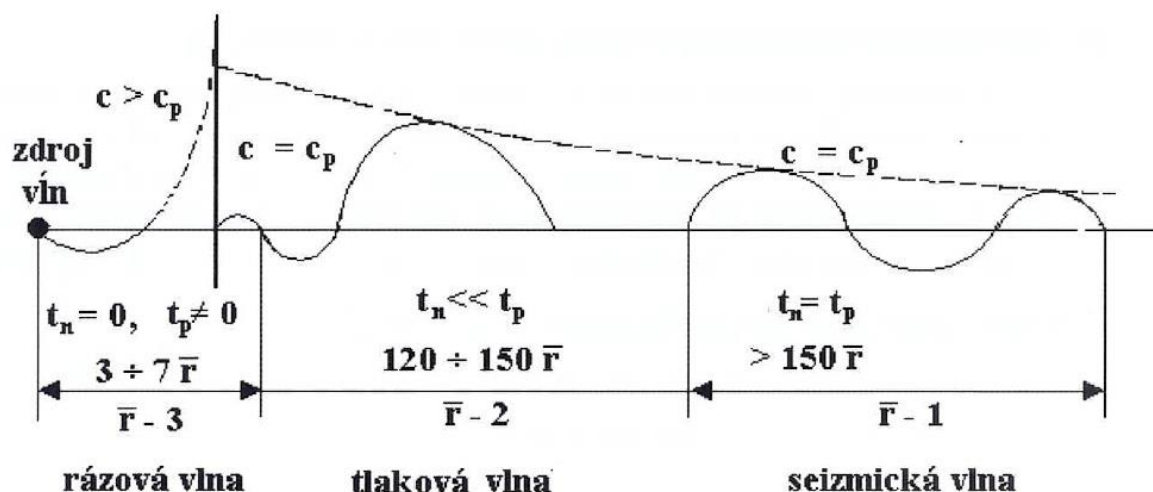
Rozpojování materiálů výbuchem je velice složitý proces, který je zatím popsán pouze teoreticky – hydrodynamická teorie výbuchu. Výbuch je velice krátký děj s obrovskou koncentrací energie. Výbušnina působí na své okolí dvojím účinkem - při výbuchu dochází ke stlačování místa styku výbušniny a okolního prostředí a vytvoření rázových vln (vytvoří se tzv. detonační tlak). Rázová vlna prostupuje prostředím a s narůstající vzdáleností od místa výbuchu zpomaluje. Sekundárně působí na okolní materiál tlak horkých plynů vytvořených chemickou reakcí výbušniny. [3]

Odštěp samotného materiálu probíhá pomocí rázových vln. Ty postupují od místa výbuchu materiálem k nejbližší volné ploše, na které se vlivem rozdílné akustické impedance štěpí a odráží se jako vlny tahové zpět do materiálu (obrázek 2). Horniny mají o několik desítek procent menší tahovou pevnost než tlakovou, a proto dochází k jejich odštěpu a vzníkání výtrže. [3]



Obr. 2 Princip mechanismu odštěpu: 1 – pásmo drcení, 2 – pásmo odhozu, 3 – pásmo sesutí, 4 – pásmo natřesení, 5 – seismické pásmo [3]

Vlny, šířící se materiálem od místa výbuchu, jenž nenarazí na volnou plochu, přenášejí část jeho energie. Tyto vlny vyvolávají krátkodobé změny napětí v hornině. Deformace horninového masívu nabývají charakter vlnění. S rostoucí vzdáleností od zdroje dochází k útlumu vln – přeměně (úbytku) jejich energie a snižování amplitudy rychlosti kmitání. Počáteční rázová vlna se mění na napěťovou (tlakovou) a ta poté na pružnou (seismickou) vlnu, u které se úbytek energie ustálí a přenáší se na větší vzdálenosti (graf 1). [3]



Graf 1 Útlum seismických vln v závislosti na poměrnou vzdálenosti od zdroje, t_n – čas narůstání napětí [s], t_p – čas poklesu napětí [s], r s čarou – poměrná vzdálenost od zdroje, c – rychlost vlny [$m \cdot s^{-1}$], c_p – rychlost zvuku (podélné vlny) [$m \cdot s^{-1}$], r_0 – poloměr nálože [m], r – vzdálenost od zdroje [m] [2]

V podélné vlně částice kmitají ve směru šíření vlny. Rychlost šíření podélných vln, lze vyjádřit vzorcem [2]:

$$c_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}} \quad (1)$$

K – modul objemové pružnosti prostředí [Pa], G – modul pružnosti ve smyku [Pa], E – Youngův modul pružnosti [Pa], ν – Poissonovo číslo [-], ρ – objemová hmotnost prostředí [$kg \cdot m^{-3}$]

Pohyb částic v příčné vlně je kolmý na směr vlny – tyto vlny nemohou vzniknout v kapalině nebo plynu, ale pouze v pevné látce. Jejich rychlost je přibližně poloviční než podélných vln. Intenzita P vln a S vln rychle klesá se vzdáleností od místa výbuchu. Rychlost příčných vln se vyjadřuje vztahem [2]:

$$c_s = c_p \sqrt{\frac{G}{K}} = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1+\nu)}} \quad (2)$$

c_p – rychlost šíření podélných vln [$m \cdot s^{-1}$], G – modul pružnosti ve smyku [Pa], ν – Poissonovo číslo [-], ρ – objemová hmotnost prostředí [$kg \cdot m^{-3}$]

Další výše popsané typy vln, které vznikají na rozmezích prostředí odlišných parametrů (např. hornina-vzduch), se šíří jen v úzkém pásu podél této hranice. Díky tomu jejich energie klesá v závislosti na vzdálenosti jen velice pomalu. Rayleighovy vlny vytváří eliptický pohyb částic horninového prostředí a jejich rychlost lze vyjádřit vztahem [2]:

$$c_R = 0,92c_S \quad (3)$$

c_S – rychlost šíření příčných vln [$m.s^{-1}$]

Tato pravidla platí pro homogenní prostředí. Reálné horninové prostředí je nehomogenní s proměnlivými fyzikálními vlastnostmi, dochází zde proto k deformaci vlnových front. [1]

1.3 Měření otřesů způsobených trhacími pracemi

Výsledky, na jejichž základě jsou posuzovány dynamické účinky trhacích prací, jsou ve velké míře závislé na použitých měřicích přístrojích. Objektivní a přesné výsledky závisí na správných postupech měření a na vhodných parametrech měřicích přístrojů. Při otřesech vzniklých odstřely je charakter pohybu hmoty v materiálu velice specifický, nelze proto použít jakékoliv přístroje pro měření kmitavého pohybu. Přístroje používané v praxi se většinou skládají ze tří hlavních částí. [2]

První z nich je snímač. Jedná se o měnič reagující na kmitavý pohyb materiálu, jenž převádí na mechanický nebo elektrický signál, který vysílá do převodního ústrojí. Obvykle se používá registrační zařízení schopné zaznamenávat celý průběh seismického vlnění a z něj se odečítají veličiny potřebné pro posouzení jeho dynamických účinků. Dle způsobu spojení snímačů s okolním seismickým polem se rozlišují jejich dva typy. Relativní snímače (snímače nultého řádu) předávají signál vznikající rozdílem pohybu hmoty vzhledem k pevné základně. Tento typ však při měření otřesů z trhacích prací nelze téměř vůbec použít, protože není možné zajistit pevnou (nepohyblivou) základnu. Používají se pouze tam, kde se měří rozdíl pohybu dvou blízkých bodů. Absolutní snímače (prvního řádu) vysílají signál vznikající rozdílem pohybů hmotných bodů seismického pole vůči pružně uložené hmotě, jenž za určitých podmínek představuje nepohyblivý bod. Skládá se z nepohyblivé části, pohyblivé části, tlumiče a pružiny. Pohyblivá část snímače kmitá okolo své rovnovážné polohy s poměrně větší frekvencí, ale se stejnou amplitudou jakou má měřené kmitající prostředí. Ani tyto snímače neměří kmitavý pohyb seismických vln moc přesně. Nejméně zkresleným výsledkům se docílí použitím netlumených snímačů. Musí však být dosaženo podmínky, kdy frekvence kmitání

daného snímače musí být aspoň 5 krát větší než frekvence kmitání měřeného prostředí. Díky tomu se však výrazně sníží frekvenční rozsah snímače. [2]

Velice důležité je kromě použití správného snímače i jeho správné umístění. Většinou se instalují do objektů přímo ohrožených účinky trhacích prací. V nich se většinou umístí do částí, ve kterých pravděpodobně dojde k největšímu kmitání. Snímače je možné uložit bez upevnění (volně) nebo s dodatečným upevněním. Instalování volně stojících snímačů je možné pouze tehdy, pokud je jejich hmotnost větší než síla (vyvolaná zrychlením kmitavého pohybu) působící proti této hmotnosti. Nesmí dojít k pohybům (např. odskakování) samotného přístroje. Lehčí snímače je nutno upevnit k základně a zabránit tak jeho pohybům. Nejjednodušší způsob znehybnění je jeho zatížení, dále je lze např. přilepit, přišroubovat, přivázat atd. Na kvalitě spoje závisí do jisté míry i přesnost měření. Dalším faktorem ovlivňující přesnost měření je správná orientace snímače k epicentru výbuchu. [2]

Další hlavní částí přístrojů pro měření seismických účinků je tzv. převodník. Ten přijímá signál ze snímače, úměrně ho zvětší anebo zmenší a převádí ho dále k indikačnímu nebo registračnímu zařízení. Zajišťuje přesné převedení signálu buď přímo (mechanicky, mechanicko-opticky) nebo nepřímo pomocí měniče (elektronicky). Převodník nesmí signál ze snímače frekvenčně nebo amplitudově zkreslit. [2]

Třetí hlavní částí přístrojů je indikační nebo registrační zařízení. Tyto zařízení dokáží zaznamenávat vlnový průběh otřesu. Indikační zařízení jsou menší, jednodušší a levnější. Slouží však jen k orientačnímu hodnocení úrovně otřesu. Registrační zařízení zpracovává upravený signál z převodového zařízení. Pro měření frekvence otřesů má časovou základnu, která v pravidelných intervalech vysílá impulzy. Pro posuzování dynamických účinků se hodnotí tři základní veličiny – výchylka, frekvence a zrychlení. Díky tomu, že lze pomocí derivací a integrálů jednotlivé veličiny dopočítat, není rozhodující, která z nich je v danou chvíli měřena. V dnešní době se používají lehké digitální přístroje s vysokým frekvenčním rozsahem (vhodné k frekvenčním analýzám zatížených objektů), pracující s velmi vysokou přesností prakticky autonomně a nezávisle na zásahu operátora. [2]

1.4 Ohrožení stavebních objektů nežádoucími účinky trhacích prací

Energie uvolněná trhavinou se jen částečně spotřebuje na rozpojení horniny, zbytek energie se uvolní v podobě rozletu rubaniny, vzdušné tlakové vlny (rázové vlně ve vodě) a seismických účinků (otřesů přenášených rozpojovaným materiálem/horninou).

Seismické účinky na objekty v okolí výbuchu nelze nikdy zcela vyloučit, lze je však účinně snížit. Jedna z běžně používaných metod snížení seismických účinků, je rozdělení celkové nálože na více časových stupňů. Nabíjení takové nálože, aby lehčeji překonala požadovaný záběr – předimenzovat jednotlivé nálože ve vrtech o 30 – 40 % požadované hmotnosti pro překonání daného záběru. Vytvořením trhliny metodou hladkého výlomu – presplitting. Volba vhodné geometrie vrtného schématu a vhodného zálomu. [3]

Dle ČSN 73 0040 se nejprve zatřídí objekty v okolí prováděných trhacích prací do kategorií podle jejich třídy odolnosti (A, B, C, D, E). Poté se zatřídí i druh základové půdy, na které leží daný objekt (a, b, c). Z tabulky závislosti stupně poškození na maximální rychlosti kmitání se orientačně stanoví amplituda rychlosti kmitání, ze které se dále stanoví hodnota isoseisty v místě blízkého objektu. Ze vztahu 4 se na základě vzdálenosti isoseisty a konstanty přenosu prostředí K dopočte maximální ekvivalentní hmotnost nálože:

$$m_n = \left(\frac{V_p L}{K} \right)^2 \quad (4)$$

V_p – rychlost kmitání hmotného bodu [mm.s^{-1}], K – konstanta přenosu energie geologickým prostředím [$\text{m}^2.\text{kg}^{-1/2}.\text{s}^{-1}$], L – vzdálenost od hypocentra vlnění [m]

$$V_p = K \frac{\sqrt{m_n}}{L} \quad (5)$$

m_n - hmotnost ekvivalentní nálože [kg], K – konstanta přenosu energie geologickým prostředím [$\text{m}^2.\text{kg}^{-1/2}.\text{s}^{-1}$], L – vzdálenost od hypocentra vlnění [m]

Veličina ekvivaletní hmotnost nálože závisí na časování roznětu. Při milisekundovém roznětu platí (délka časového intervalu mezi dílčími intervaly $\Delta t \leq 0,1 \text{ s}$):

$$m_n = 2. m_{jn} \quad (6)$$

m_{jn} – hmotnost nálože na jeden časový stupeň

Při déle-časovaném roznětu, kdy interval mezi dílčími náložkami $\Delta t \geq 0,1 \text{ s}$ platí:

$$m_n = 1. m_{jn} \quad (7)$$

m_{jn} – hmotnost nálože na jeden časový stupeň

Pokud se nálož rozdělí do 2 a více dílčích vrtů, pak platí:

$$m_n = 0,66. m_{jn} \quad (8)$$

m_{jn} – hmotnost nálože na jeden časový stupeň

Koeficient K se velmi těžko stanovuje. V normě jsou uvedeny orientační hodnoty (tabulka 1), jež jsou před provedením samotných trhacích prací velice těžko zjistitelné.

Tab. 1 Orientační hodnoty konstanty přenosu prostředí K [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$] [4]

Vzdálenost L [m]	Součinitel K [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$]	
	Podloží ze skalních a poloskalních hornin s velmi malou až střední hustotou diskontinuit	Ostatní horniny mimo horniny ve zvodnělém prostředí
10	350	250
50	250	150
200	150	120
500>	120	100

Kontrolní měření pro ověření správnosti výpočtu je třeba provést buď při prvním odstřelu, nebo provedením zkušebního odstřelu s použitím přibližně desetiny hmotnosti nálože uvedené v projektu. Rychlost kmitání se měří přímo v ohroženém objektu na úrovni terénu, v nejnižších podlažích nebo u základů. Inženýrské sítě se mohou měřit přímo na obnaženém vedení nebo na terénu nad jejich uložením. [3] Kromě kontrolních měření se provádí i pasportizace objektů a průběžný monitoring při provádění trhacích prací: měření trhlin, pravidelné měření akustických účinků, měření deformací, stálé měření seismických účinků instalováním měřicí stanice.

Po detonaci trhavin se nejen horninou ale i vzduchem šíří mechanické vlnění. To se nazývá akustickým tlakem. Ohrožuje veškeré křehké materiály ve svém okolí. Ohroženy jsou skleněné plochy, keramické obklady, střešní krytiny i okenní a dveřní rámy. Hodnota akustického tlaku, při níž nedojde k žádnému poškození, je $P_{\max} = 0,15 \text{ kPa}$, odpovídá to přibližně 138 dB. Akustický tlak způsobený trhavinou se vypočte podle rovnice: [3]

$$P_{\max} = c\sqrt{m_n L^3} \quad (9)$$

c – konstanta energie výbušniny a přenosových vlastností prostředí, m_n – ekvivalentní hmotnost nálože [kg], L – vzdálenost od místa výbuchu [m]

Rovnice pro výpočet bezpečné vzdálenosti od zdroje akustického tlaku je: [3]

$$L = K_t \sqrt[3]{m_n} \quad (10)$$

K_t – součinitel přenosu pro běžné podmínky = 150, m_n – ekvivalentní hmotnost nálože [kg]

Je nutno vždy zajistit bezpečný úkryt všech zúčastněných osob (střelníků, hlídky atd.) a vymezit dostatečný bezpečnostní okruh proti poškození od odlétajících úlomků horniny. Jako opatření proti nadměrnému rozletu mohou sloužit ochranné rohože či sítě (dopravníkové pásy, staré lutny, finské koberce atd.). Orientační výpočet bezpečnostního okruhu může být proveden podle rovnice 11. Nesmí se však zapomenout na polohu místa provedení trhacích prací, zda se nachází na úrovni terénu nebo nad terénem, poté dopočítat pravděpodobnou trajektorii letu úlomků. Při provádění prací pod terénem většinou není nutno bezpečnostní okruh počítat. [3]

$$r_b = k\sqrt{N} \quad (11)$$

k – koeficient z hlediska rozletu úlomků (22,5), N – hmotnost nálože [kg]

1.5 Běžné metody roznětu používané v České republice

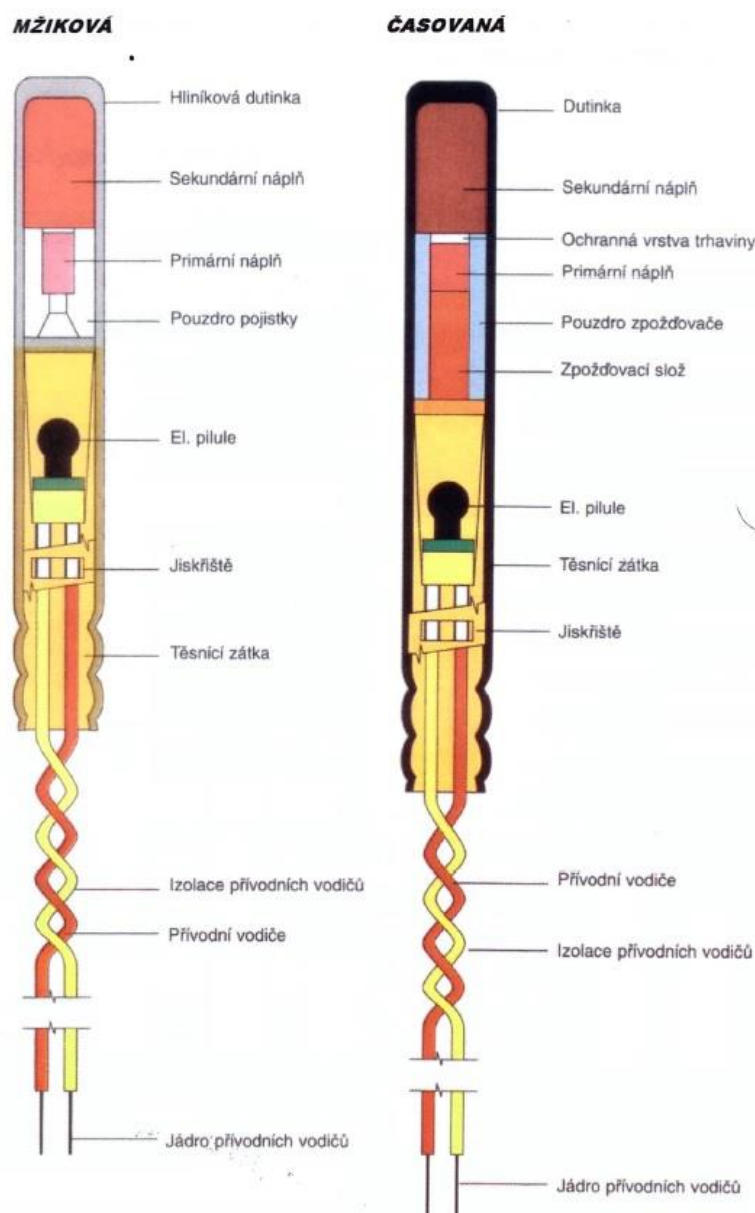
Volba způsobu roznětu patří mezi základní parametry při projektování trhacích prací. Způsob roznětu má velký vliv na bezpečnost při manipulaci s rozbuškami a náloží a také na možnost časování odstřelu. Základní rozdělení rozbušek shodné pro elektrický a neelektrický roznět jsou – mžikové (bez zpoždovacího elementu) a časované (s instalovaným zpoždovacím elementem). Časované rozbušky se dále dělí na milisekundové (zpoždění po 25 ms) a déle časované (zpoždění po 250 ms a po 500 ms). Časování odstřelu má velký vliv na snížení nežádoucích účinků způsobených trhacími pracemi. Správně zvoleným časováním se snižuje výše zmíněné seismické zatížení na okolní objekty, ale také rozlet rubaniny a zlepšuje se její kusovitost pro následné odtěžení. Dlouhodobým pozorováním byly zjištěny tyto závislosti pro rozlet a kusovitost rubaniny: Čím delší je doba roznětu a tím pádem i delší intervaly mezi iniciací jednotlivých náloží, tím kratší je odhoz a větší kusovitost rubaniny. Způsobuje to nízká spoluúčast náloží při rozpojení zabírky. Naopak čím je doba odstřelu kratší a čím jsou intervaly mezi iniciací jednotlivých náloží menší, tím je odhoz delší, ale kusovitost rubaniny menší. [3]

1.5.1 Elektrický roznět

Jedná se o prozatím nejrozšířenější způsob roznětu v České republice. Věci potřebné k elektrickému roznětu náloží: rozněcovadla (el. rozbušky) a pomůcky pro elektrický roznět

(roznětnice – dnes již jen kondenzátorové, elektrické vedení – např. Cu dvojlinka, ohmmetry a jiné méně používané měřicí zařízení).

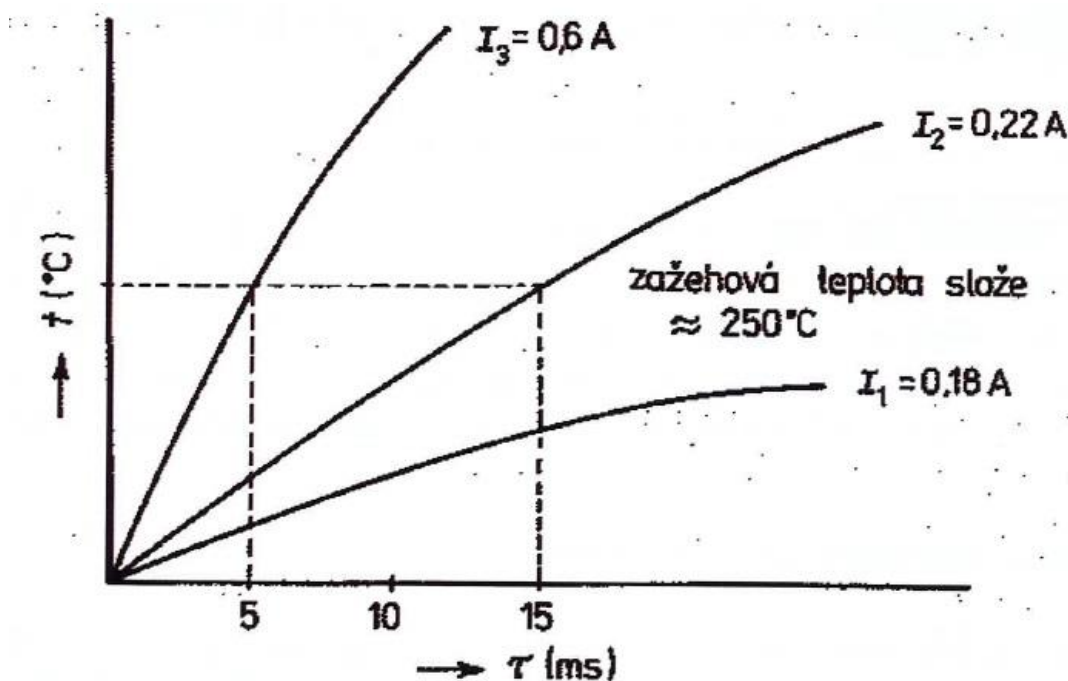
Elektrická rozbuška se skládá z elektrického palníku (pilule), zpožďovací složky, zalisované v zpožďovacím elementu (podle toho zda je nebo není „časovaná“), primární a sekundární náplně trhavin (obrázek 3).



Obr. 3 Schéma elektrické rozbušky [3]

Elektrické rozbušky je možno zapojovat do sériového, paralelního, sério-paralelního nebo paralelně-sériového schématu. [3]

Z elektrického hlediska je činnost elektrické rozbušky dána pouze vlastnostmi elektrické pilule. Elektrický proud prochází můstkem pilule (odporovým drátkem), ohřeje ho (elektrická energie se mění na tepelnou), když dosáhne teploty cca 250 °C aktivuje zážehovou slož a tím iniciuje celou rozbušku. Závislost teploty můstku na průchodu elektrického proudu je ukázána na grafu 2 [3]:



Graf 2 Závislost teploty můstku na průchodu elektrického proudu [3]

Důležitým parametrem u elektrických rozbušek je reakční čas t_r (doba od začátku průtoku elektrického proudu do rozbušky až k její detonaci). Ten se skládá ze zážehového času t_z (začátek průtoku elektrického proudu v piluli do zážehnutí slož) a z přenosového času t_p (od zážehnutí slož po detonaci rozbušky). Z hlediska spolehlivosti roznětu je důležité splnit tzv. podmínku součinnosti roznětu. Nejkratší reakční čas rozbušky v zapojeném okruhu musí být delší než zážehový čas kterékoliv z rozbušek (v okamžiku detonace první rozbušky musí být všechny již zážehnuty). Z hlediska bezpečnosti práce, bezpečné manipulace a spolehlivého používání elektrických rozbušek musí každá mít uvedeny další základní parametry. [3]

Trvalý bezpečný proud I_B [A] je maximální elektrický proud, který může rozbuškou trvale procházet, aniž by došlo k její iniciaci. Tato hodnota je limitující pro použití měřicích zařízení (ohmmetrů). [3]

Bezpečný impuls L_B [J/ Ω] je hodnota dodaného během zpravidla 4 ms největšího roznětného impulsu – energie vztaženého na 1 Ω odporu roznětné sítě, při které nesmí dojít k iniciaci žádné rozbušky. [3]

Aktivační proud I_A [A] je naopak nejmenší hodnota proudu s časovým omezením většinou 4 ms, při které musí dojít ke spolehlivému roznětu všech rozbušek zapojených v roznětném okruhu. [3]

Aktivační impuls L_Z [J/ Ω] vyjadřuje hodnotu nejmenšího zážehového impulsu vztaženého na 1 Ω odporu roznětného okruhu v daném časovém intervalu (většinou 4ms), kdy dojde ke spolehlivému roznětu všech zapojených rozbušek. [3]

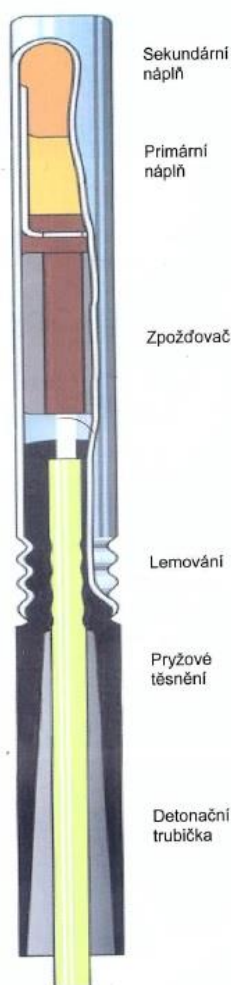
Časová vybijecí konstanta kondenzátoru τ [s, ms] je čas exponenciálního průběhu vybíjení kondenzátoru u kondenzátorových roznětnic. Závisí na kapacitě kondenzátoru a odporu okruhu, do které se kondenzátor vybíjí. Jistota roznětu se neposuzuje podle velikosti elektrického proudu v roznětném okruhu, ale podle velikosti zážehového impulsu. Pro rozbušky s odporovými můstky byla přijata standardní doba trvání impulsu 4 ms – hodnota impulsu se při zkracování doby průtoku proudu podstatně nemění. [3]

Proti ostatním způsobům požívaných roznětů je elektrický roznět nejnáchylnější k předčasné iniciaci rozbušek. Při jejich používání musí být respektována přísná bezpečnostní opatření. Musí být vyhodnoceny všechny možnosti předčasného roznětu, které mohou způsobit: bludné proudy (elektrolytické pochody třeba při trhacích pracích pod vodou), energovody (nebezpečí při vzdálenosti vysokého napětí 250 m a menší), vysokofrekvenční vysílače, statická elektrina a nebezpečí předčasného roznětu atmosférickou elektrinou (např. při bouřce). Z těchto důvodů je v České republice zakázáno používat nízko odolné rozbušky (NO) s aktivacním proudem menším než 0,18 A. Nejčastěji se používají středně odolné rozbušky (SO, SICCA). Vysoko odolné rozbušky (VO) byly nahrazeny z ekonomických důvodů rozbuškami pro neelektrický roznět. Čím má rozbuška vyšší odolnost, tím jich lze méně zapojit do roznětného okruhu pro danou roznětnici. [3]

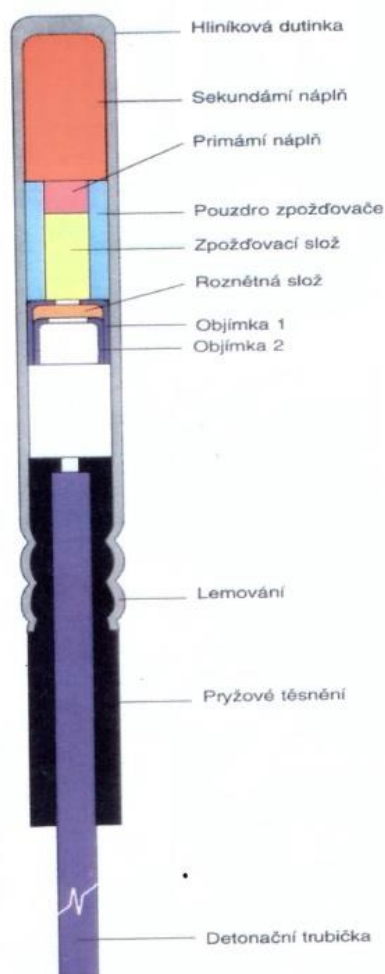
1.5.2 Neelektrický roznět

Tento způsob roznětu již prakticky nahradil elektrický pro trhací práce při ražbách podzemních děl. Konstrukce (obrázek 4) rozbušek je skoro totožná jako u elektricky iniciovaných, chybí zde však jen elektrická pilule. Zpoždovací mechanismus se zažehuje přímo přívodním vedením - detonační trubičkou – např. SHOCKTUBE (plastová trubička naplněná trhavinou).

Rozbuška Exel



Rozbuška INDETHOCK MS 25/50

**Obr. 4** Schéma neelektrických rozbušek [3]

Rozbušky se dělí dle své konstrukce a použití: pro iniciaci trhavin (milisekundové, délečasované), pro časování roznětných sítí a na svazkovače. Běžné pomůcky pro tento způsob roznětu jsou: jiskrová roznětnice, přívodní vedení (detonační trubička) a spojky pro spojování trubiček. Rozbušky se spojují do tzv. svazků. [3]

Vzhledem k tomu, že je přívodní vedení naplněno velmi malým množstvím trhaviny, nehrozí prakticky v žádném případě nežádoucí roznět. Iniciaci způsobí jen silný vysokoenergetický ráz. Díky tomu je tento způsob roznětu pro manipulaci a nabíjení výrazně bezpečnější než elektrický. [3]

Odstřel se časuje pomocí dnových i povrchových rozbušek (které lze dle potřeby kombinovat) a délky vedení. Je proto mnohem variabilnější než odstřel pomocí elektrických rozněcovadel. Je výhodnější pro prostředí s limitující možností seismického zatížení na okolí.

Pro roznětný „okruh“ platí stejné pravidlo jako u elektrického roznětu a to, že všechny rozbušky iniciující trhavy musí být zažehnuty před výbuchem první z nich. [3]

1.5.3 Elektronický roznět

Elektronický roznět je moderní způsob roznětu. Např. rozbušky E*Star s elektronickým časováním je nový druh rozbušky, u které řídí zpoždění elektronický iniciační modul (EIM) místo hoření zpožďovací složky. Zážeh je proveden z instalovaného kondenzátoru, jenž uvolní elektrickou energii přímo do tzv. squibu (pilule) a ta zažehne primární náplň rozbušky. Celý systém umožňuje zpoždění rozbušky od 1 ms do 10 000 ms po 1 ms krocích. Do celého systému lze zapojit až 1600 rozbušek rozdělených do 100 větví po max. 100 rozbuškách ve větvi. Do roznětného okruhu se připojují pouze paralelně pomocí konektoru ESC. EIM kromě zpoždění zážehu řídí i ostatní funkce rozbušky – zpracovává pokyny z loggeru, zapisuje hodnoty do vnitřní paměti, akumuluje a uvolňuje energii nutnou k odpalu. [3]

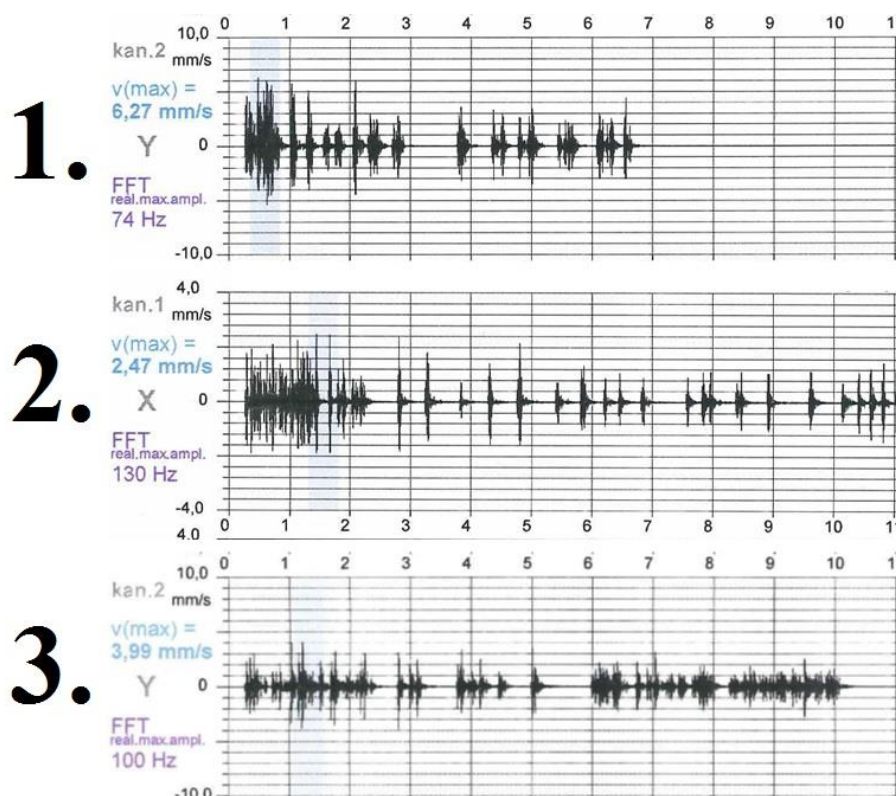
Základní přístroj pro programování rozbušek je tzv. logger. Tím se kontrolují a časují všechny rozbušky, data se ukládají do jeho paměti a přenášejí se do roznětnice. Pomocí loggeru lze nastavit zpoždění rozbušky (1 – 10 000 ms), číslo rozbušky (1 – 1600) a číslo větve (1 – 99). Programovat lze buď ručně přímo na přístroji, nebo lze dané schéma přednastavit v PC, nebo lze použít tzv. automatický přírůstek. Programovat rozbušky lze i pomocí více loggerů, ze všech se data následně stáhnou do roznětnice. [3]

Roznětnice DBM 1600-2K může odpálit až 1600 ks rozbušek pomocí přenesených dat z loggeru. Před odstřelem roznětnice zkontroluje každou rozbušku a správnost jejího zapojení.

Přívodní vedení se nazývá tzv. Baseline – jedná se o oddělenou dvoulinku, s počítačovou datovou sběrnou, ve které stále prochází nízké napětí. [3]

Výhodou tohoto roznětu je velmi jednoduchá a naprosto bezpečná manipulace. Nikdy nemůže dojít k předčasnému roznětu. Při chybě v ládování nebo při chybě v programování lze pomocí loggeru vše snadno přeprogramovat. Nabíjení je jednoduché a rychlé. Elektronické rozbušky umožňují ve stejném prostředí s vyprodukovaným stejným seismickým zatížením 2 až 2,5 krát větší záběry než rozbušky neelektrické nebo elektrické. Vyplatí se v místech, kde podmínky horninového prostředí umožňují dlouhé záběry, ale jsou tu limitující podmínky pro seismické zatížení blízkých objektů. [3]

Seismické účinky na základě způsobu roznětu byly detailněji zkoumány při ražbě tunelového komplexu Blanka. Na obrázku 5 je ukázáno porovnání vibrogramů elektrického, neelektrického a elektronického způsobu roznětu naměřených při ražbě Blanky. [5]



Obr. 5 Porovnání vibrogramů různých způsobů roznětu naměřených při ražbě tunelu Blanka – 1) elektrický roznět 1,2 kg/na čas stupeň ve 2 vrtech, 2) INDETSHOCK TS 1,2 kg /na čas stupeň ve 2 vrtech, 3) E*Star 2,6 kg//na čas stupeň v 1 vrtu [5]

1.6 Dimenzování nálože

Hlavním cílem trhavých prací při ražbě podzemních děl je při optimální bezpečnosti práce rozpojit minimálním množstvím vrtů a trhaviny maximální objem horniny na ideální kusovitost s co nejdokonalejším zachováním obrysu díla a s co nejnižšími škodlivými účinky na okolí. Pro splnění těchto cílů se vypracovává technologický postup/projekt odstřelu. V projektu je z technické stránky důležité stanovit: vhodnou trhavinu, průměr vrtů, vrtné schéma (geometrie rozmístění vrtů), typ zálomu, záběry a rozestupy vrtů, hmotnost náloží ve vrtech, konstrukci náloží, způsob počinu a roznětu, časování a pořadí odpálení náloží a pomyslné hranice omezující škodlivé účinky (např. návrh přípustných isoseist). [6]

Dodnes neexistuje žádné analytické řešení, jež by se dalo v plném rozsahu aplikovat v praxi pro projektování trhavých prací. Částečně použitelné jsou jen některé metody aplikovatelné jen ve zjednodušených podmínkách. Hlavní problém u analytických metod je ten, že zatím není možné exaktně definovat nástroj rozpojení a ani objekt rozpojení. Neexistuje žádná jednotná, vědecky podložená teorie, která by byla základem pro inženýrské výpočty.

Všechny používané metody vychází ze známých fyzikálních jevů a z poloempirických a empirických poznatků z dlouhodobých experimentů přímo při provádění trhačích prací. Úspěšné projektování trhačích prací závisí na dobrém zvládnutí teoretických poznatků a na množství praktických zkušeností. [6]

1.6.1 Dimenzování nálože podle Mečíře – Válka

Principy návrhu trhačích prací dle Mečíře-Válka byly publikovány v 60. letech 20. století. Zakládají se na českých a převážně zahraničních zkušenostech z povrchového a hlubinného dobývání nerostného bohatství. Pro ražení podzemních děl jsou zde důkladně zpracovány postupy pro tunely, které mají čelbu o ploše maximálně 14 m². Je nutné určit celkový objem výlomu a měrnou spotřebu trhavin pro tento objem. Vychází se z tabelovaných součinitelů. Nejprve se vypočte celková nálož pro jeden odstřel [8]:

$$N_c = q_r \chi_r F_r H_r \eta_v \quad (12)$$

q_r – měrná spotřeba trhavin [kg.m⁻³], χ_r – opravný součinitel pro ražení [-], F_r – plocha hrubého výrubu [m²], H_r – součinitel pro ražbu [-], η_v – podmínky ražení [-]

Poté se vypočte maximální směrný odpor [8]:

$$W_{max} = \sqrt{\frac{k_m}{q_r \chi_r}} \quad (13)$$

k_m – množství trhaviny v 1 bm vývrtu, q_r – měrná spotřeba trhavin [kg.m⁻³], χ_r – opravný součinitel pro ražení [-]

Hodnoty q_r a χ_r se dosadí z tabulek:

Tab. 2 Tabulka určení měrné spotřeby trhavin q_r [kg.m⁻³] [8]

Rozpojitel- nost horniny	Profil raženého díla [m ²]						
	3	4	5	6	8	10	14 a více
Velmi špatná	2,9—3,4	2,6—3,0	2,3—2,8	2,2—2,6	2,0—2,4	1,9—2,2	1,7—2,0
Špatná	2,2—2,5	2,0—2,3	1,8—2,1	1,7—1,9	1,6—1,8	1,5—1,7	1,4—1,6
Střední	1,5—2,0	1,4—1,8	1,3—1,6	1,2—1,5	1,1—1,4	1,0—1,3	0,9—1,2
Dobrá	0,9—1,3	0,8—1,2	0,7—1,1	0,6—1,0	0,5—0,9	0,5—0,8	0,4—0,7
Velmi dobrá	0,7—0,8	0,6—0,7	0,5—0,6	0,4—0,5	0,3—0,4	0,3—0,4	0,25—0,35

Tab. 3 Tabulka určení opravného součinitele pro ražení $\chi_r = a \cdot b$ [8]

Součinitel struktury čelby a	$a =$
Proplástek dobře rozpojitelné horniny, do níž je možno umístit zálom	0,7—0,8
Ražení po směru vrstev při drobně vrstevnaté hornině	0,8—0,9
Dobře vyvinutá odlučná plocha, na níž lze založit zálom	0,85—0,95
Nepřavidelné vložky pevné horniny	1,1—1,2
Pro všechny ostatní případy	1,0
Součinitel vlastnosti horniny b	$b =$
Drobně břidličnatá, popřípadě navětralá hornina	0,7—0,9
Vrstevnatá hornina, vrstvy do 25 cm	0,9—1,0
Masivní hornina, nebo hornina s balvanovitou nebo lavicovitou odlučností	1,0—1,1
Soudržná, houževnatá, popřípadě pórovitá hornina	1,1—1,2
Houževnatá, značně stlačená a všestranně provrásněná hornina	1,2—1,4

Náložová hustota k_m se spočítá podle průměru náložky a vrtu a velikosti hustoty použité trhaviny. Hodnota H_r má vliv na množství práce spojené s vrtáním, nakládáním a odtěžením rubaniny, tudíž jí je nutno po výpočtu podle vzorce (14) ještě korigovat:

$$H_r = c \sqrt{\frac{F_r}{\pi}} \quad (14)$$

F_r – plocha hrubého výrubu [m^2], c – součinitel podmínky ražení [-]

Součinitele η_v a c se určují ze společné tabulky:

Tab. 4 Tabulka určení součinitelů η_v a c [8]

Podmínky ražení	c	η_v
Běžné ražení s jednoduchým sbíhavým zálomem, dlouhodobě časovaný roznět	0,9—1,1	0,8—0,85
Ražení s jednoduchým sbíhavým zálomem, roznět rozbuškami DeR	1,1—1,4	0,85—0,90
Ražení s moderním sbíhavým zálomem s roznětem DeR, nebo ražení s přímým zálomem, nebo kombinované ražení se zálomem	1,25—1,8	0,85—0,92
Kombinované ražení	1,4—2,0	0,88—0,93
Bezzálomové ražení	1,6—2,2	0,90—0,95

Při zvolení klínového zálomu je podle této metody ještě potřeba vypočítat ukazatel výtrže i a vypočíst nálož pro samotný zálohu dle vzorců:

$$i = \frac{B_r}{2z} \quad (15)$$

z – délka zabírky [m], B_r – šířka zabírky [m]

$$N_z = q_r \chi_r z^3 (0,4 + 0,6i^3) \quad (16)$$

q_r – měrná spotřeba trhaviny [kg.m⁻³], χ_r – opravný součinitel pro ražení [-], z – délka zabírky [m]

Poté se rozdělí hmotnost nálože N_z do náložových vrtů, přičemž délky náložů nesmí přesáhnout 40% délky vrtů. Pokud se tak stane, je nutno zvětšit počet vrtů v navrženém zálomu. [8]

Vrty se na čelbu rozmisťují podle pravidel uvedených v tabulce:

Tab. 5 Pravidla pro rozmisťování vrtů na čelbu, W – maximální odporová úsečka [m] [3]

vývrty prvního rozšiřovacího okruhu	0,9 W
vývrty dalšího rozšiřovacího okruhu	0,9 – 1,1 W
obrysové (patní) vývrty u počvy	0,8 – 0,9 W
ostatní obrysové vývrty	0,9 – 1,1 W

Dnes se v relativně velké míře kvůli jednoduchosti výpočtu používá tzv. modifikovaný Mečír-Válek. Jedná se o verzi vzorců, které díky svému zjednodušení kladou větší nároky na zkušenosti střelmistra nebo TVO, jenž dané trhací práce navrhuje, ale jsou často výhodnější při sestavování technologických postupů podle vyhlášky Českého báňského úřadu č. 72/1988 Sb. Umožňují totiž určitý rozptyl hmotnosti nabíjené trhaviny vzhledem k zastiženým geologickým podmínkám. Vzorec pro výpočet nálože se může zjednodušit pouze na [3]:

$$N_c = q_r F_r z \quad (17)$$

q_r – měrná spotřeba trhaviny [kg.m⁻³], F_r – plocha hrubého výrubu [m²], z – délka zabírky [m]

A pro stanovení maximální odporové přímky je možno použít upravený vzorec [3]:

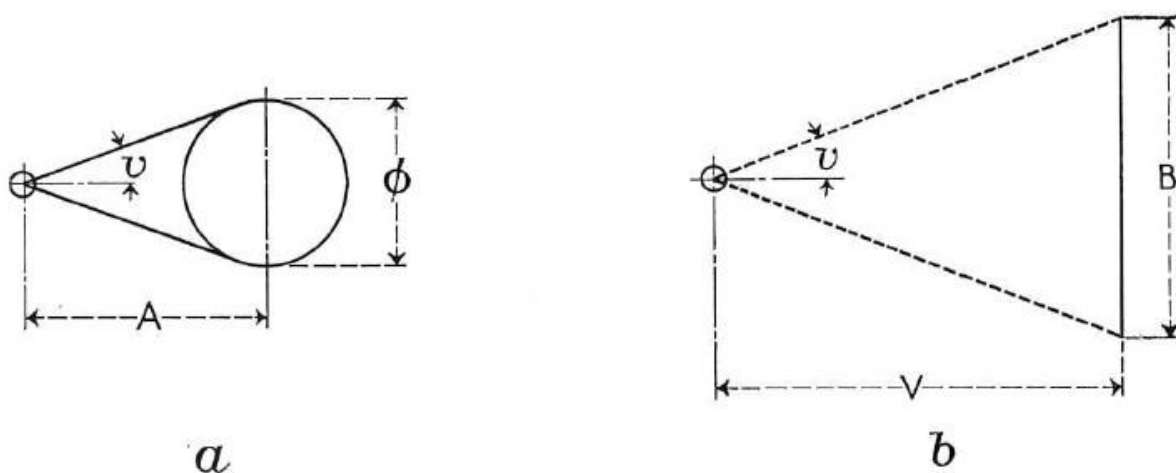
$$W_{max} = \sqrt{\frac{k_m}{q_r \chi_r}} \delta \quad (18)$$

k_m – množství trhaviny v 1 bm vývrtu, q_r – měrná spotřeba trhavin [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], χ_r – opravný součinitel pro ražení [-], δ – P korekční součinitel 0,5 – 1,5 [-]

1.6.1 Dimenzování nálože podle Langeforse

Ulf Langefors byl jednou z největších person pracujících v oblasti trhacích technologií ve 20. století. Své teorie zakládá na zkušenostech z povrchového a hlubinného dobývání nerostných surovin a ze stavebních prací v severní a západní Evropě a Severní Americe. Pro ražby tunelů zpracoval univerzální návrhové metody pro různé profily děl v různém horninovém prostředí.

Při postupu dimenzování náloží podle Langeforse je důležité nejprve stanovit tvar nejbližší volné plochy, zda je to nenabíjený vrt (tzv. válcová) nebo přímo čelba či jiná stěna (tzv. obdélníková) – obrázek 6. [9]



Obr. 6 Tvary typů volných ploch: a – válcová, b – obdélníková, v – polovina „úhlu výtrže“ [rad], A – vzdálenost středů kružnic [m], V – vzdálenost středu vrtu k nejbližší volné ploše [m], B – šířka výtrže [m] [9]

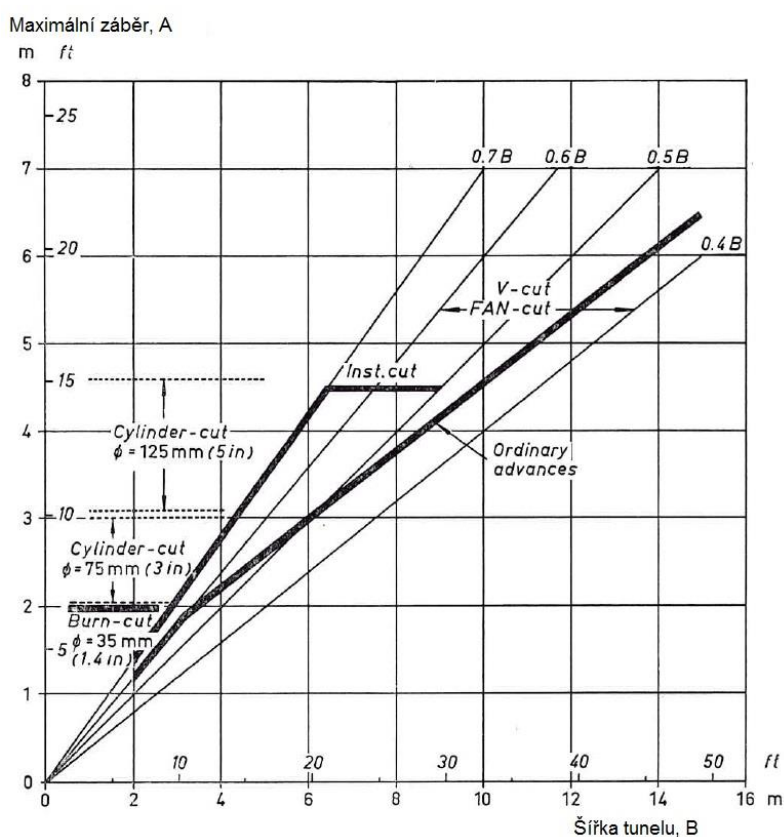
Koncentrace nálože – l [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$] se stanoví z rovnic 19 a 20. Z těchto rovnic vyplývá, že válcová volná plocha může být až o 60% účinnější než obdélníková.

$$l_a = \frac{0,55(A - \frac{\phi}{2})}{(\sin v)^{3/2}} \quad (19)$$

$$l_b = \frac{0,35V}{(\sin v)^{3/2}} \quad (20)$$

v – $\frac{1}{2}$ úhlu výtrže [rad], A – vzdálenost středů [m], ϕ - průměr nenabíjeného vrtu [m], V – vzdálenost nejbližší volné plochy [m]

Po koncentracích nálože se stanoví maximální záběr A [m] z grafu 3 podle typu zvoleného zálomu a parametrů tunelu a z něj hodnota tzv. odporové úsečky V [m].



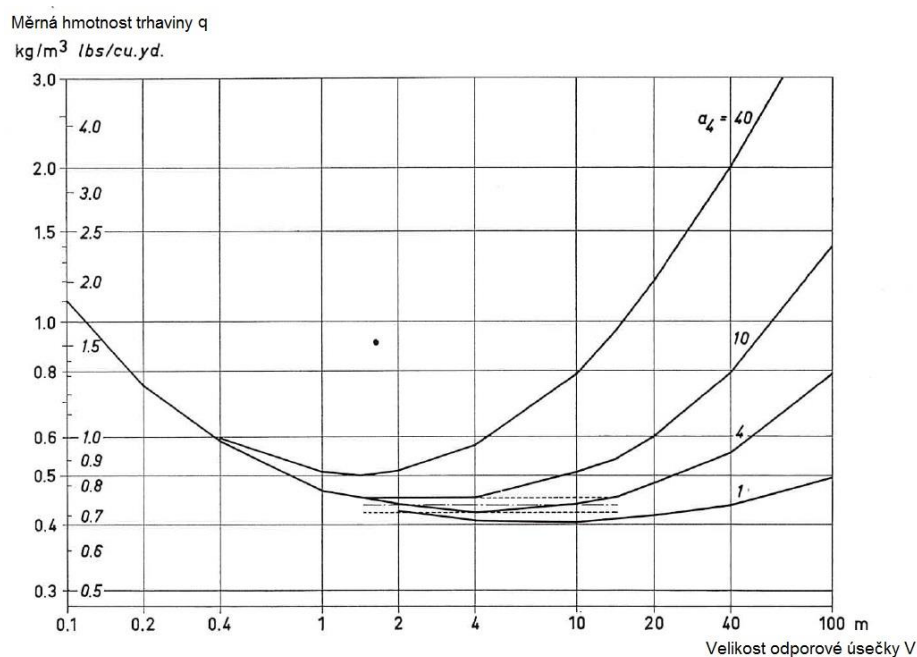
Graf 3 Stanovení maximálního záběru v závislosti na typu zálomu a šířce tunelu [9]

Před určením hodnoty měrné spotřeby trhavin je nutné stanovit tzv. redukovanou odporovou úsečku podle rovnice:

$$V_1 = V - 0,1H \quad (21)$$

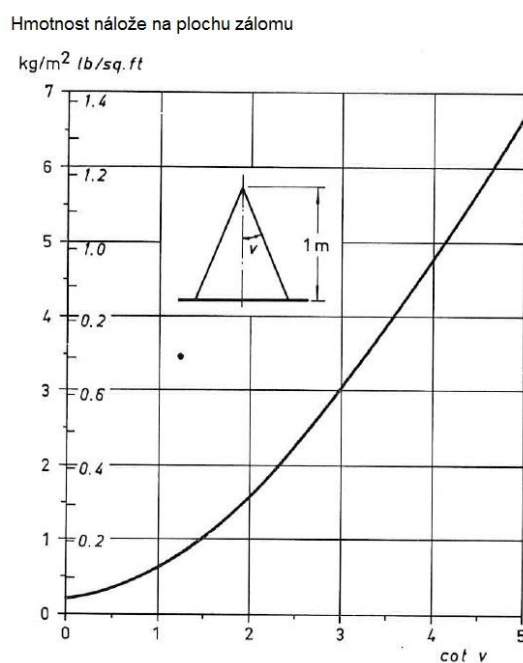
V – odporová úsečka [m], H – hloubka vrtu [m]

Určení měrné spotřeby trhaviny q [kg/m^3] se rozděluje do dvou částí. Pro zálomové vrty a pro vrty přibírky a obrysu. Vrtý přibírky a obrysu se stanovují podle grafu 4 – bere se pro ně nižší upnutí než pro zálomové vrty.



Graf 4 Graf obecného stanovení měrné spotřeby trhaviny q [kg/m^3] – křivky a_4 jsou stanoveny dle typu trhacích prací (pro tunely $a_4 = 40$) [9]

Zálomové vrty se určí z grafu 5 pro klínový zálom:



Graf 5 Graf měrné spotřeby trhaviny q [kg/m^3] pro klínový zálom [9]

Měrnou spotřebu trhavín pro celou čelbu lze určit také pomocí empirického vzorce:

$$q = \frac{14}{S} + 0,8 \quad (22)$$

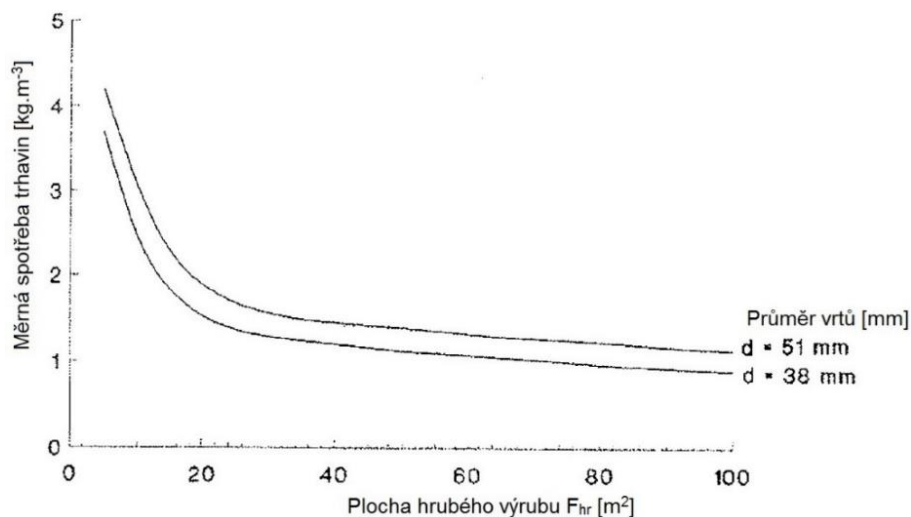
S – plocha čelby [m^2]

Po stanovení měrných spotřeb trhavín se pomocí jednoduchých vzorců vypočtou objemy horniny v oblasti zálomu a v oblasti přibírkových a obrysových vrtů. Do těchto sektorů se vhodně rozmístí vrty tak, aby byla dodržena stanovená maximální odporová úsečka a také navržená hmotnost trhaviny na m^3 . [9]

1.6.2 Dimenzování nálože podle Olofssona

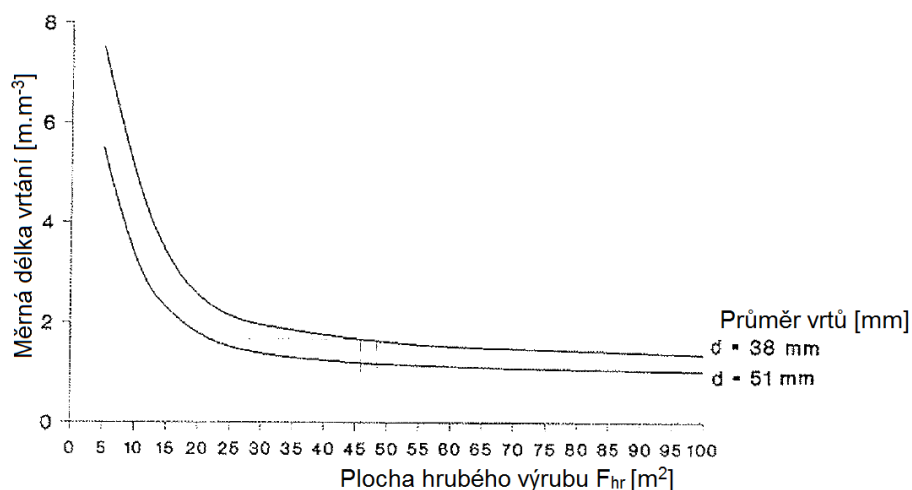
Stig O. Olofsson zakládá své postupy projektování trhacích prací na obrovských zkušenostech severských států při rozpojování velmi tvrdých hornin. Díky fyzikálním vlastnostem rozpojovaného horninového prostředí (jeho malá náročnost na výztuž) je zde možno dosahovat při trhacích pracích velice dlouhých záběrů. Zkušenosti jsou čerpány hlavně ze stavebnictví – velké profily čeleb (ražby tunelů pro silniční a železniční tratě nebo metro).

Prvním parametrem pro výpočet je základní měrná spotřeba trhavín, ta se odečte z grafu (6):



Graf 6 Určení základní měrné spotřeby trhavín podle Olofssona [10]

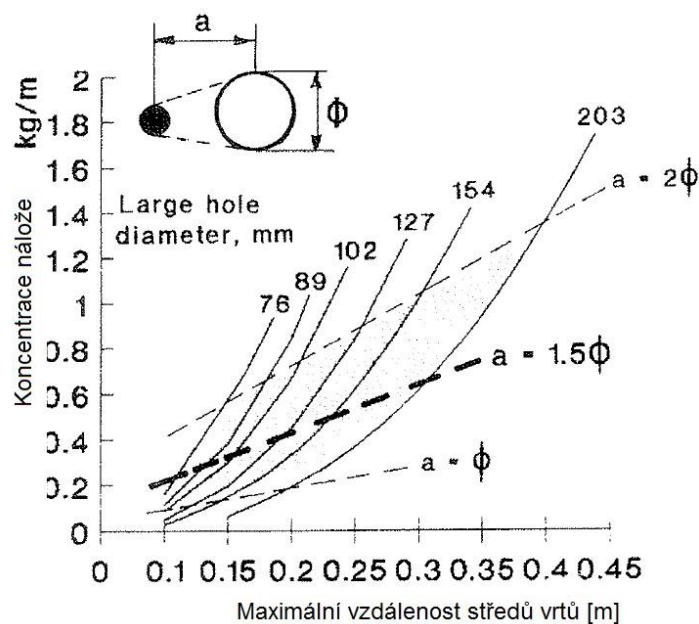
Druhým parametrem je orientační počet vrtů a jejich délka potřebná k rozpojení dané čelby graf 7:



Graf 7 Určení celkové délky vrtů [m.m⁻³] [10]

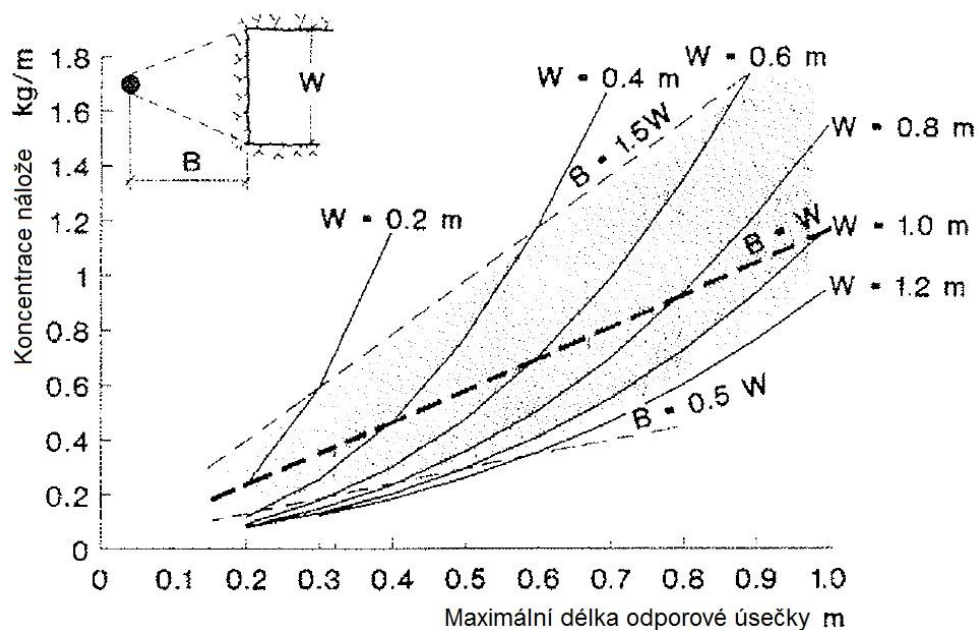
Čelba se dále rozdělí na sektory a postupně se vypočítá geometrie vrtů a hmotnost trhaviny v nich (nejprve zálom, poté přibírka a nakonec obrysové vrty – stropní patní atd.). Nejvyšší hmotnost trhaviny na vrt bude v zálomových vrtech, s narůstající vzdáleností vrtů od zálohu se snižuje i hmotnost trhaviny v nich. Postup výpočtu se s každým typem zálohu mírně liší. Pro příklad bude uveden výpočet uvolňovacího a klínového zálohu. [10]

Při výpočtu uvolňovacího zálohu se nejprve stanoví jeho geometrie tj. vzdálenost velkého uvolňovacího vrtu od vrtů menších nabíjených a hmotnost nabíjené trhaviny (graf 8). Tento typ zálohu zabírá většinou na čelbě kolem 2 m². [10]



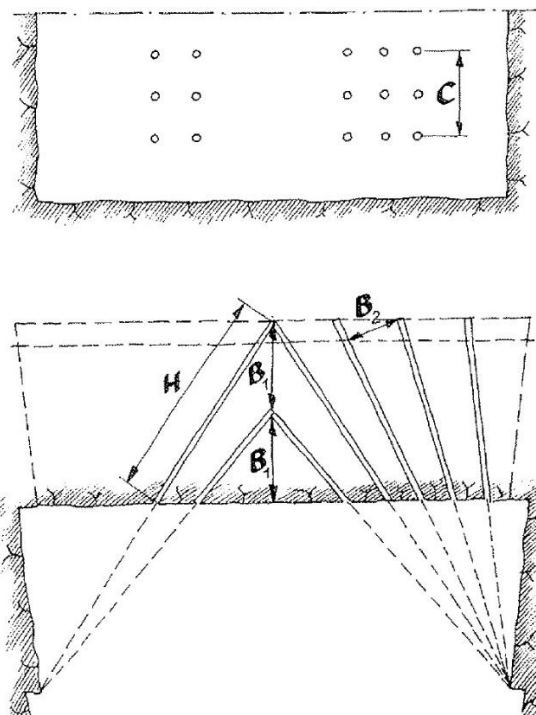
Graf 8 Stanovení geometrie vrtů a koncentrací náloží lb [kg.m⁻¹] u prvního čtverce zálohu [10]

Tento graf je koncipován tak, že i kdyby došlo k nepřesnostem při vrtání (vychýlení vrtů), bude v zálomových vrtech pořád dostatečné množství trhaviny, aby splnily požadovanou práci. Po výpočtu tzv. prvního čtverce zálomu se nadimenzují (na základě šířky výlomu předchozího zálomového čtverce a maximální délky odporové úsečky) i ostatní navržené čtverce zálomu (graf 9). Pro výšku nálože ve vrtu $1,5 \times B$ bude její hmotnost $l_c = 2 \times l_b$, délka ucpávky by měla být minimálně $0,5 \times B$. [10]



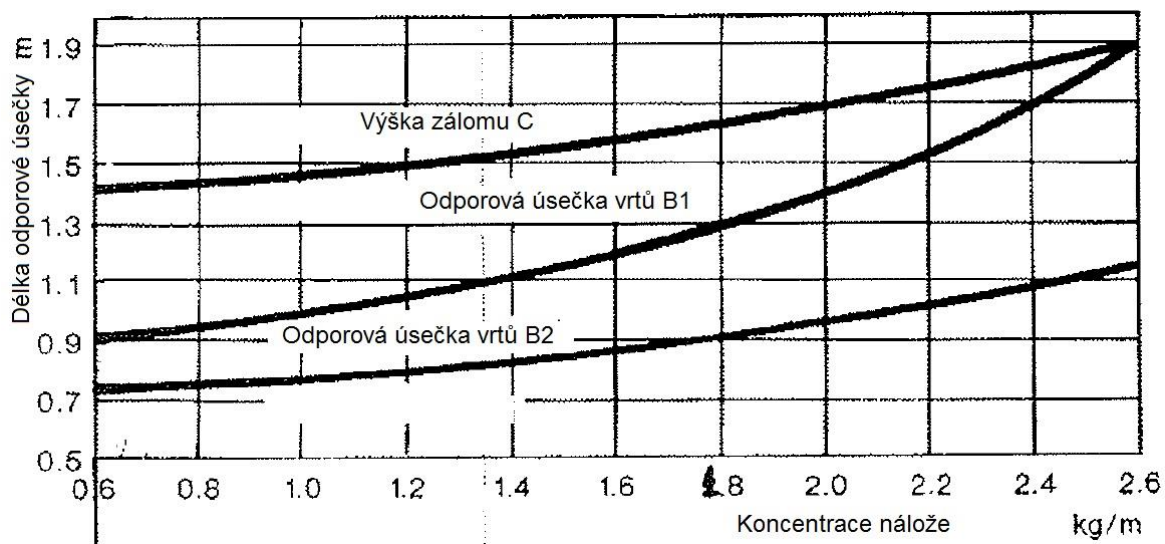
Graf 9 Stanovení geometrie vrtů a koncentrací náloží l_b [kg.m^{-1}] u dalších čtverců zálomu [10]

Dalším typem zálomu je zálom klínový. Ten se volí a umísťuje podle uložení a sklonu vrstev rozpojovaného horninového prostředí. Obecná konstrukce klínového zálomu je ukázána na obrázku 7:



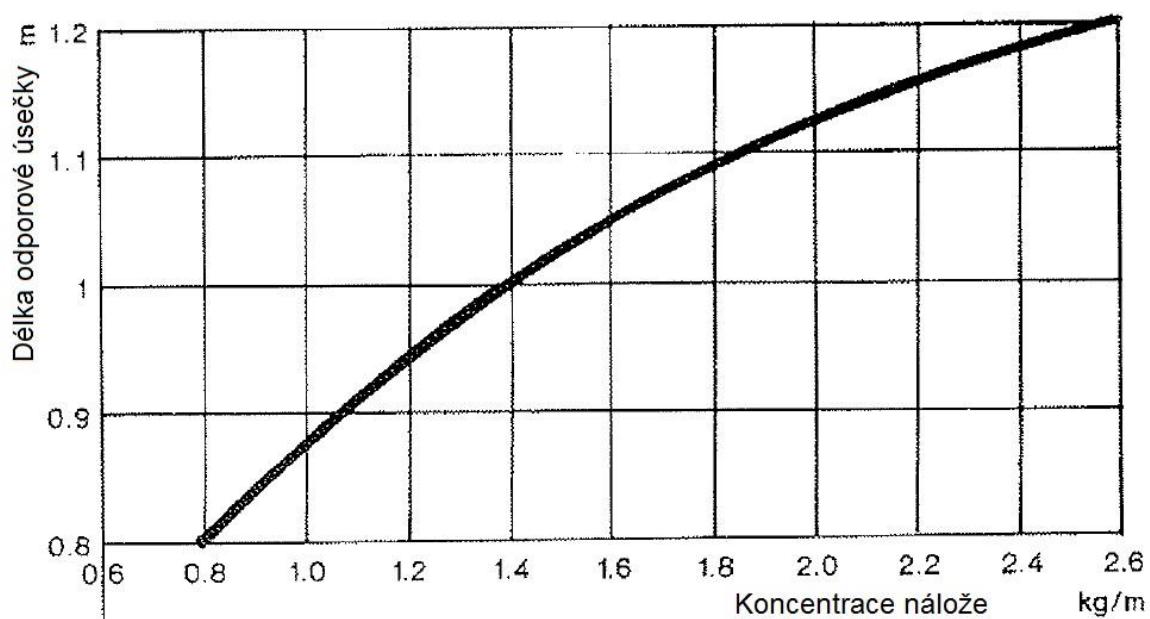
Obr. 7 Konstrukce klínového zálomu [10]

Při použití klínového zálomu musí být dodrženo pravidlo, že první sled vrtů nesmí být vrtán pod úhlem k čelbě větším než 75° . Vrty se dimenzují dle grafu 10. Maximální délka sklípkové nálože ve vrtu se rovná $h_b = 1/3 \times H$ při překročení této délky se jedná o nálož táhlou a její koncentrace l_c je přibližně 30 – 50% l_b . [10]



Graf 10 Stanovení geometrie a koncentrace nálože l_b [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$] u klínového zálomu [10]

Po výpočtu zálomu následuje dimenzování tzv. přibírkových a obrysových vrtů. Odporová úsečka a hmotnost nálože se stanoví z grafu 11 a poté se upraví pomocí tabulky 6.



Graf 11 Stanovení geometrie a koncentrace nálože l_b [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$] u přibírkových a obrysových vrtů [10]

Tab. 6 Tabulka parametrů přibírkových a obrysových vrtů [10]

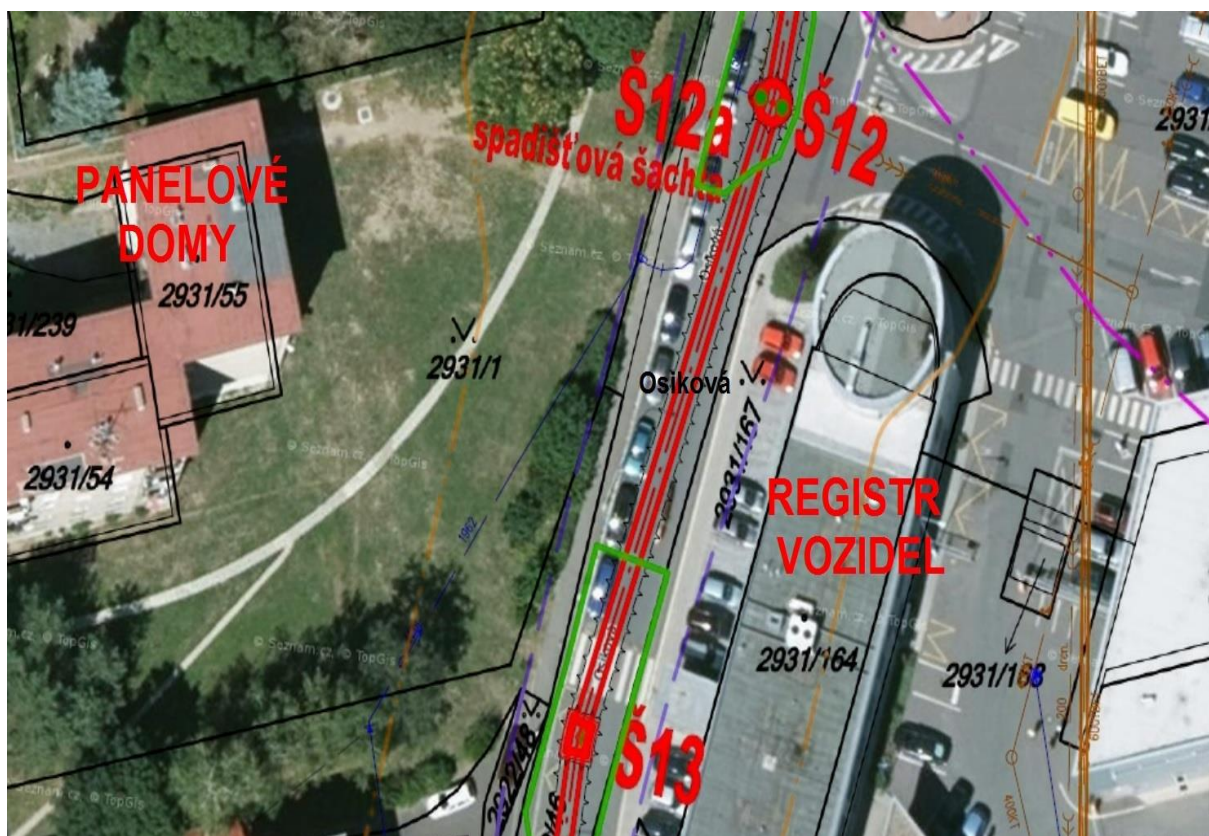
Umístění vrtu	Odporová úsečka B [m]	Mezní délka nálože (koncentrovaná/táhlá) [m]	Koncentrace nálože l_b [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]	Koncentrace nálože l_c [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]
Obrys - počva	1 x B	1/3 x H	l_b	1,0 x l_b
Obrys – boky	0,9 x B	1/6 x H	l_b	0,4 x l_b
Obrys – strop	0,9 x B	1/6 x H	l_b	0,3 x l_b
Přibírka – horní	1 x B	1/3 x H	l_b	0,5 x l_b
Přibírka – boční	1 x B	1/3 x H	l_b	0,5 x l_b
Přibírka - spodní	1 x B	1/3 x H	l_b	0,5 x l_b

2 Návrh trhacích prací pro stavbu Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská

2.1 Popis stavby

Stavba se nachází v Praze, v městské části Praha-Žižkov. Jedná se o budování nového kanalizačního sběrače bezvýkopovou technologií. Podle §3 zákona č. 61/1988 Sb. o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě je stavba zařazena mezi činnost prováděnou hornickým způsobem.

Jednotlivé ražené úseky stoky jsou rozčleněné hloubenými stavebními jámami. Konkrétní úsek uváděný v této práci se nachází na ulici Osiková mezi jámami TŠ 12 a TŠ 13 – raženo od TŠ 12 k TŠ 13 (jižním směrem). Terén mezi těmito stavebními jámami má mírně svažité charakter o sklonu přibližně 4%. Klesání je orientováno jižním směrem. Schéma situace daného úseku je ukázáno na obrázku 8.



Obr. 8 Situace stavby – schéma

V blízkém okolí daného úseku se nalézají celkem tři stavby. První z nich je stavba registru vozidel vzdálená přibližně 12 m od osy ražby, jež se skládá z dvou částí – konstrukce složená z ocelobetonových sloupů a železobetonové stropní desky s eliptickým půdorysem o třech nadzemních podlažích - novější dostavovaná část v letech 2003 - 2006 (obrázek 9) a starší lehký skeletový příčný systém s vyzděnými stěnami (obdélníkový půdorys) o dvou nadzemních podlažích a jednom podlaží pod úrovní terénu – 80. léta (obrázek 10). Druhá a třetí stavba jsou dva bytové panelové domy (typ T02B) postavené v období 1959 – 1963 vzdálené od osy ražby přibližně 37 m (obrázek 11).



Obr. 9 *Novější část registru vozidel*



Obr. 10 *Ulice Osiková, na levé straně starší část registru vozidel*

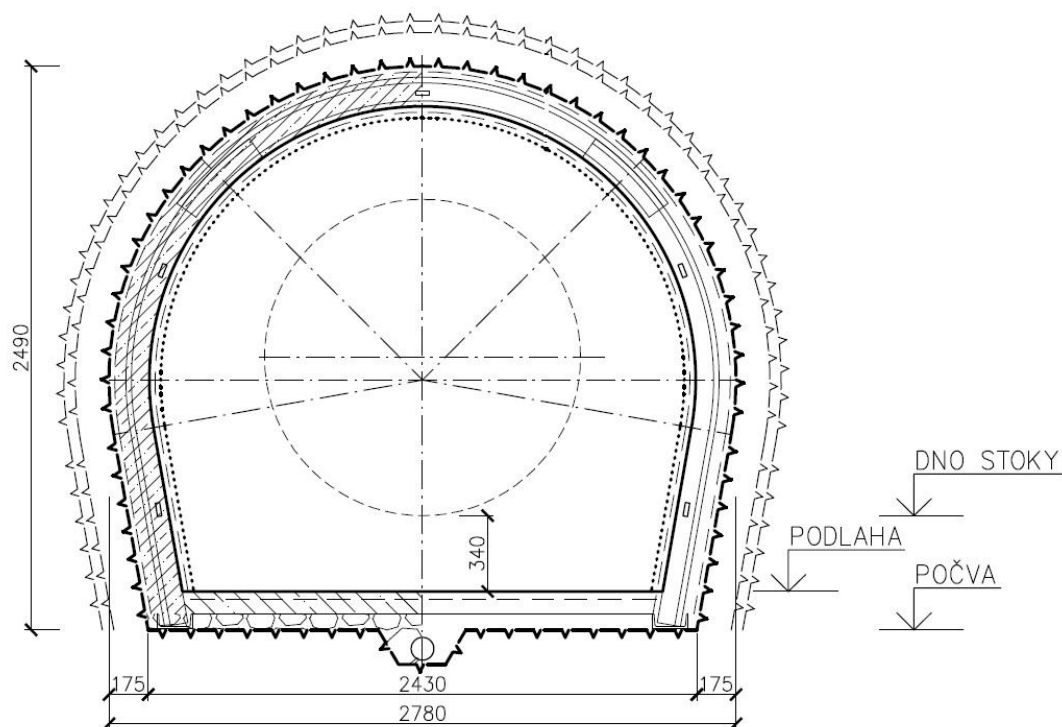


Obr. 11 *Bytové domy*

Dále se zde do vzdálenosti 10 m od osy ražby nacházejí různé inženýrské sítě: vodovod – ocelové trubky, plyn – ocelové trubky, elektrický kabel veřejného osvětlení – kabel + chránička.

Jáma TŠ 12 (zhotovena před zahájením ražeb) má kruhový půdorys s plochou výrubu $18,75 \text{ m}^2$ a jáma TŠ 13 (předpokládané zhotovení jaro 2017) má obdélníkový půdorys s výrubem o ploše $15,48 \text{ m}^2$. Obě jámy jsou vyztuženy ocelovými rámy průřezu K21 kombinovanými s pažinami UNION nebo KARI sítí a stříkaným betonem.

Budovaná stoka má vnitřní průměr definitivního ostění 1400 mm. Tvar hrubého výrubu je atypický (podkovovitý) – obr. 12 a jeho plocha je přibližně 6 m². Primární ostění tvoří dle zastiženého horninového prostředí rámy průřezu K21 nebo rámy typu BTX. Pro zapažení výrubu mezi jednotlivými rámy jsou použity KARI sítě v kombinaci se stříkaným betonem a při zastižení nepříznivější geologie je použito hnané pažení pomocí pažin UNION.



Obr. 12 Příčný průřez ražby

2.2 Složení a vlastnosti horninového prostředí v daném úseku

Zájmové území se skládá z hornin paleozoického stáří (ordoviku). Patří k severnímu křídlu barrandienského synklinoria s převažujícím směrem vrstev severovýchod-jihozápad a se sklonem k jihovýchodu. Z ordovických hornin se zde vyskytuje libeňské souvrství ve facii libeňských břidlic a řevnických křemenců, dobrotivské a letenské souvrství. Povrch zájmového území je budován nesourodými navážkami o variabilní mocnosti 0,5 až 3 m, které překrývají deluviální, fluviální a eolické sedimenty. Mocnost pokryvných útvarů se pohybuje od 0,5 m do 4,80 m.

Ražba úseku zmiňovaného v této práci probíhala v pásmu libeňských břidlic. Ty jsou černošedé, tenké deskovitě až laminovaně vrstevnaté, hojně slídnaté, jílovité až jemně siltové, rozpukané. Jsou jedny z nejměkčích ordovických hornin. Často vykazují kyzové zrudnění. Ve

svém zvětralinovém plášti budou svrchu o mocnosti cca 0,5 m rozložené do charakteru jílu. Předpokládá se přibližně 1 až 2 m mocná vrstva zvětralých, střípkovitě rozpadavých břidlic. Pod touto vrstvou budou břidlice mírně navětralé a kusovitě rozpadavé.

Nad pásmem libeňských břidlic se nalézala tenká vrstva především antropogenních sedimentů. Ve svrchních vrstvách byly tvořeny převážně konstrukčními částmi místních komunikací. Měnili svůj charakter v horizontálním i vertikálním směru.

V tabulce 7 jsou uvedeny orientační technické vlastnosti libeňských břidlic zastižených při hloubení TŠ 12 a ražbě štoly mezi TŠ 12 a TŠ 13:

Tab. 7 *Orientační technické vlastnosti zastižených libeňských břidlic*

Stupeň zvětrání (ČSN 72 1001)	ρ [kg.m ⁻³]	E_{def} [MPa]	c_{ef} [kPa]	ϕ_{ef} [°]	Pevnost (ČSN 72 1001)
W1	2 500	1 100	200	40	R3
W3	2 300	500	70	30	R4
W4	2 100	100	30	25	R5

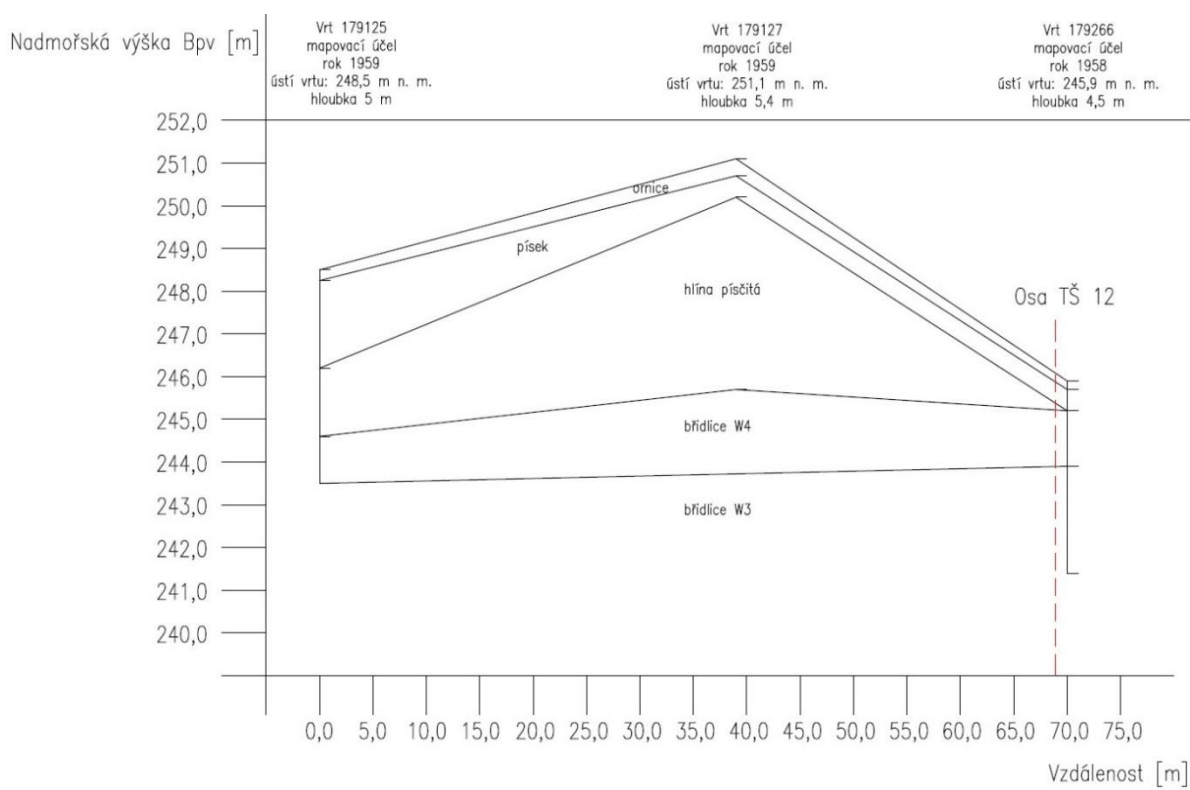
V zájmovém území se nachází dva typy zvodní – průlinová a puklinová. Podzemní voda v daném úseku vzhledem k svažitému charakteru terénu a skoro nepropustné vrstvě zdravých libeňských břidlic vykazuje velice malou vydatnost. Při hloubení prakticky nebyla zastižena. Při ražbě se zřídka objevily pouze málo vydatné vývěry podzemní vody z puklin.

V relativní blízkosti raženého úseku se nachází železniční trať (cca 200m) a trolejové vedení pro MHD (cca 150m). Lze tedy předpokládat vysokou agresivitu prostředí bludnými proudy (IV).

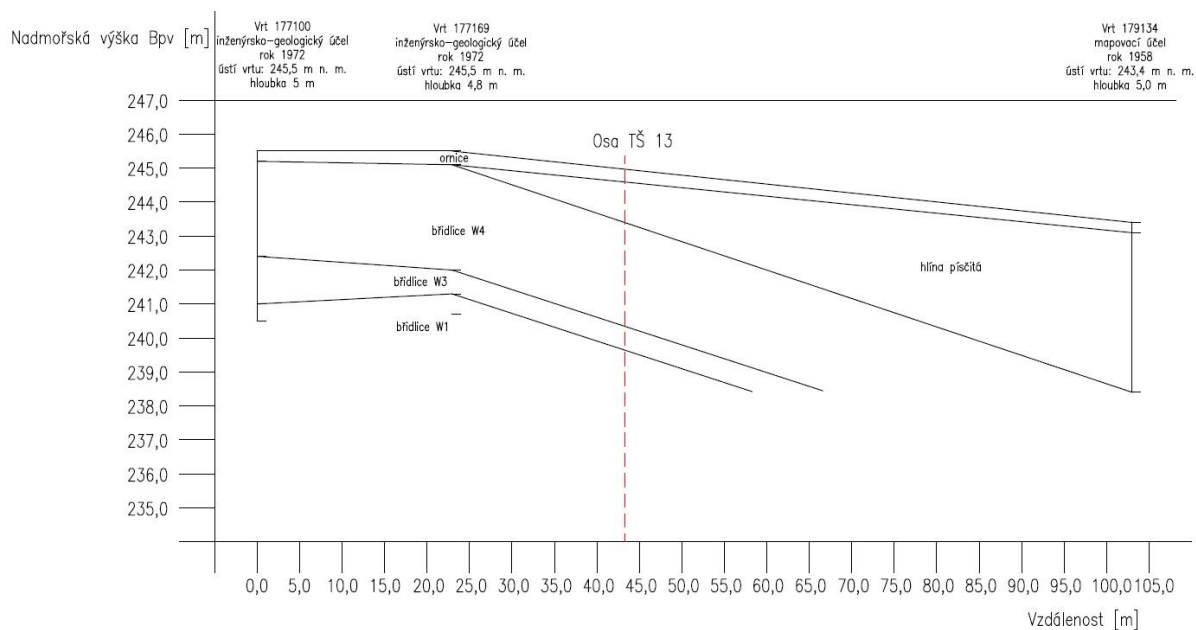
V lokalitě dané stavby byl v 50. a 70. letech proveden vrtný průzkum v souvislosti výstavby sídliště Jarov. Mapa vrtů v blízkosti zájmového úseku je ukázána na obrázku č. 13. Řezy horninovým prostředím sestrojené (na základě vrtného průzkumu z 50. a 70. let) v místě TŠ 12 a TŠ 13 jsou ukázány na obrázcích č. 14 (TŠ 12) a č. 15 (TŠ 13).



Obr. 13 Situace stavby s vyznačenými vrty a řezy horninovým prostředím

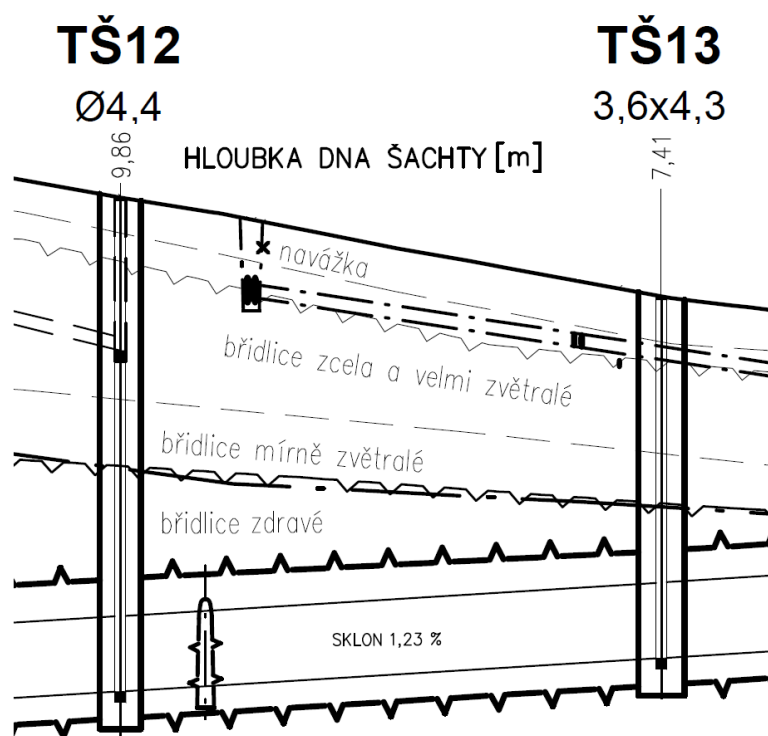


Obr. 14 Řez 1 – horninové prostředí v místě TŠ 12

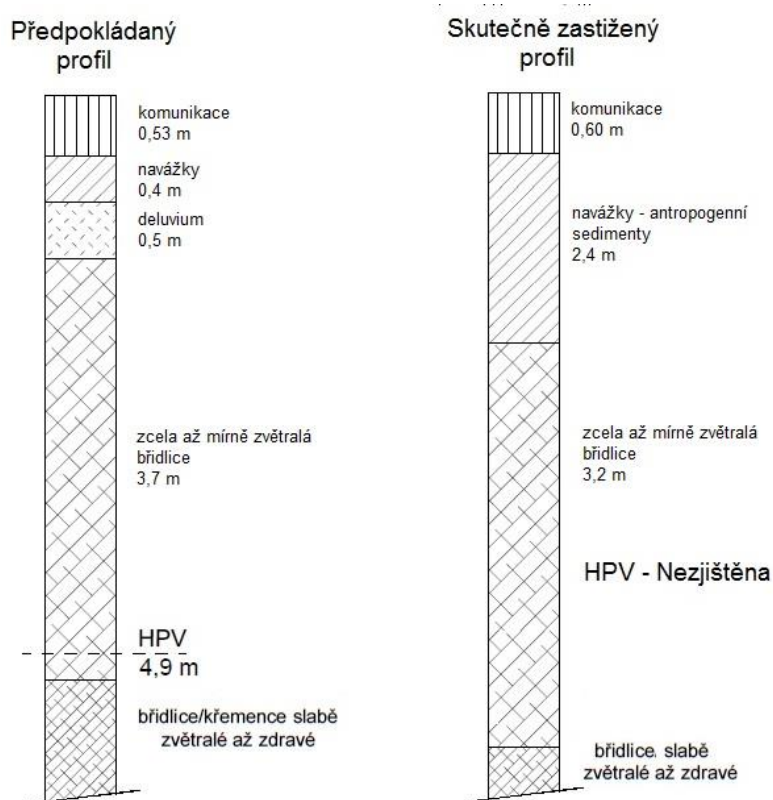


Obr. 15 Řez 2 – horninové prostředí v místě T3 13

Při projektování bylo čerpáno pouze z archivních dokumentů. Předpokládaný profil horninového prostředí je ukázán na výřezu z podélného řezu ražbou - obrázek 16. Porovnání předpokládaného a skutečně zastižného složení horninového prostředí s uvedenou mocností jednotlivých vrstev při hloubení TŠ 12 je na obrázku 17. Z obrázků je patrné, že se předpoklad příliš nelišil od skutečnosti. Celý úsek ražby štol probíhal ve vrstvě mírně zvětralých (W4) až zdravých břidlic (W1).



Obr. 16 Výřez úseku TŠ 12 – TŠ 13 z podélného řezu ražbou s orientačním složením horninového prostředí



Obr. 17 Předpokládané a skutečné složení horninového masivu v místě hloubení TŠ 12

2.3 Nežádoucí účinky trhacích prací

Nejdůležitější vzhledem k poloze stavby je ochrana okolních objektů před seismickými účinky trhacích prací. U dotčených objektů je nutné provést pasportizaci před zahájením trhacích prací. Nejprve se stanoví výpočtem (dle ČSN 73 0040) maximální hmotnost nálože na jeden časový stupeň. Podle toho se poté vykreslí předpokládaný průběh isoseist ($15, 10$ a 5 mm.s^{-1}) v návaznosti na postup ražeb. Výčet dotčených objektů a přípustná maximální rychlost kmitání v závislosti na frekvenci kmitání, jíž mohou být vystaveny, bez toho aniž by byly poškozeny, je ukázána v tabulce číslo 8.

Tab. 8 *Soupis objektů v okolí stavby a jejich zatřídění dle ČSN 73 0040*

Číslo	Objekt	Třída odolnosti objektu	Kategorie základové půdy	Max. rychl. při dané frekvenci pro stupeň pošk. 0 [mm.s^{-1}]			Vzdálenost objektu [m]	Přiřazené K [$\text{m}^2.\text{kg}^{-1/2}.\text{s}^{-1}$]
				$f < 10 \text{ Hz}$	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$	$50 \text{ Hz} < f$		
1	Registr vozidel	C	b	8	15	20	12	250
2	Bytový dům	C	b	8	15	20	37	150
3	Vodovod	F	b	30	50	100	do 10	250
4	Plynovod	F	b	30	50	100	do 10	250
5	Elektrické kabely	E	b	20	40	60	do 10	250

Výpočet mezní hmotnosti nálože na jeden časový stupeň a zároveň i časování roznětu se tedy stanoví na základě tabulky 8. Nejblíží a nejvíce ohrožený objekt je registr vozidel. Při předpokladu velikosti frekvence vlnění okolo 50 Hz je jeho mezní rychlost, které může být objekt vystaven, přibližně 15 mm.s^{-1} . Samotný výpočet mezní nálože:

$$m_n = \left(\frac{v_p L}{k} \right)^2$$

$$m_n = \left(\frac{15.12}{250} \right)^2$$

$$m_n = 0,52 \text{ kg}$$

Při použití délečasovaného roznětu $t \geq 100 \text{ ms}$ a rozdělení $1 \text{ vrt} = 1$ časový stupeň, je možno nabíjet do jednoho vrtu až $0,5 \text{ kg}$ trhaviny.

Výpočet vzdálenosti isoseist L [m] pro rychlosti kmitání $V_p = 15, 10$ a 5 mm.s^{-1} a pro ekvivalentní hmotnost trhaviny $m_n = 0,5 \text{ kg}$:

$$L_{V_p} = \frac{K\sqrt{m_n}}{V_p}$$

$$L_{15} = \frac{250\sqrt{0,5}}{15}$$

$$L_{15} = 12 \text{ m}$$

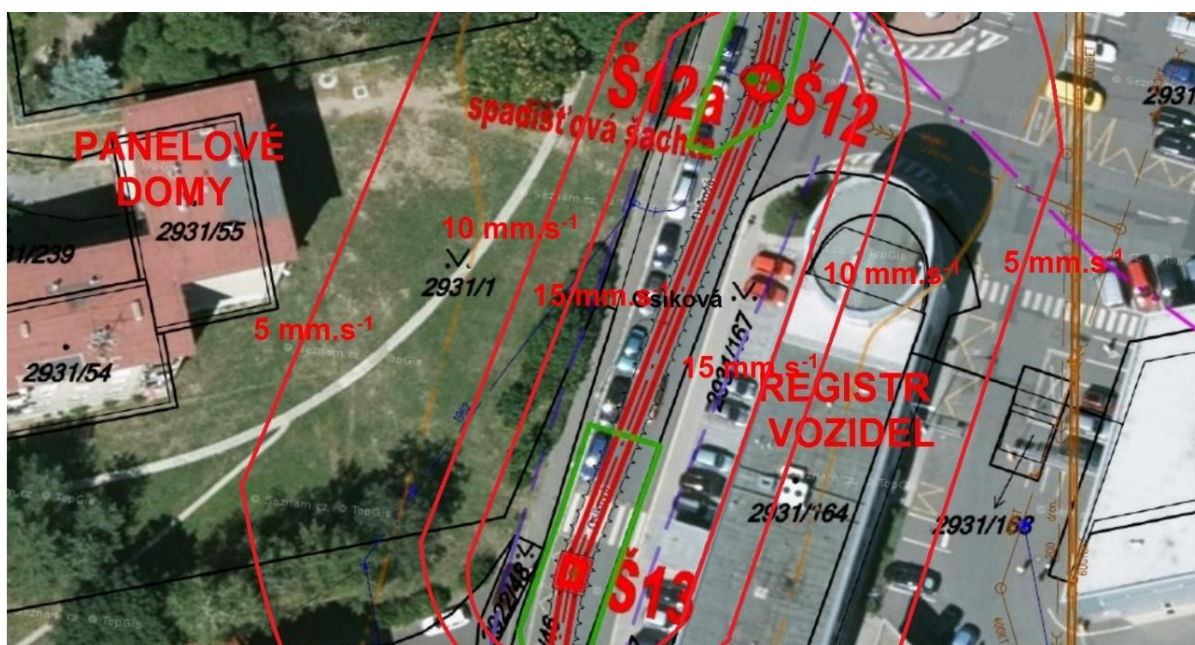
$$L_{10} = \frac{250\sqrt{0,5}}{10}$$

$$L_{10} = 18 \text{ m}$$

$$L_5 = \frac{250\sqrt{0,5}}{5}$$

$$L_5 = 35 \text{ m}$$

Vypočtené isoseisty jsou schematicky znázorněny na obr. 18:



Obr. 18 Schéma navržených isoseist

Vzhledem k co nejšetnějšímu provedení trhacích prací bude navržen pouze klínový zářez.

Roznět bude pro co největší snížení seismických účinků, kvůli možnosti výskytu bludných proudů a z ekonomického hlediska iniciován neelektrickými rozbuškami INDET.

Dle navrhnuté intenzity seismického zatížení staveb budou účastníci řízení o povolení trhacích prací pouze správci registru vozidel a přilehlých inženýrských sítí. Bytové panelové domy jsou v zóně nižší, než je 50 % jejich přípustného dynamického zatížení a tudíž nemusí být jejich správci k účasti přizváni.

Vzhledem k provádění trhacích prací pod úrovní terénu a minimální hmotnosti nálože, není nutné stanovení opatření proti působení akustického tlaku.

Pro ochranu výstroje jámy a zařízení v záboru stavby je nutné provést pasivní ochranná opatření proti nadměrnému rozletu. Do vzdálenosti čelby 10 m od jámy bude portál štoly zakrýván před odpalem tzv. finským kobercem obr. 19 (rozřezané pneumatiky spojené ocelovým lanem).



Obr. 19 Zakrytí čelby „finským“ kobercem

2.4 Návrh trhacích prací

Pro navrhované trhací práce bude vždy použit neelektrický roznět pomocí systému INDET (obr. 20). Rozbušky budou vedeny do dvou svazků spojeny pomocí dvou svazkovačů Shockstar Bunch Connector, které budou spojeny jedním Shockstar Surface Connectorem, jenž bude připojen na přívodní vedení a to rovnou na jiskrovou roznětnici JR – 1. Veškeré povrchové rozbušky (konektory) budou bez zpožďovací složky.



Obr. 20 *Zažehnuté detonační trubičky rozbušek INDETSHOCK TS rozdělené do dvou větví*

Jako ucpávka může být použita vrtná drť, jíl nebo vodní ucpávka (obr. 21)



Obr. 21 *Použití „vodních“ ucpávek*

2.4.1 Výpočet nálože podle modifikovaného Mečíře-Válka

Zastižené horninové prostředí (souvrvství zdravých břidlic) je klasifikováno jako dobře rozpojitelné. Plocha rozpojované čelby je 6 m^2 a požadovaný záběr bude $z = 1 \text{ m}$. Objem rozpojované horniny bude tedy $V = 6 \text{ m}^3$ a měrná spotřeba trhavin vzhledem k rozpojované hornině a ploše čelby $q_r = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$. Hmotnost celkové nálože se vypočte:

$$N_c = q_r V$$

$$N_c = 1,2 \cdot 6$$

$$N_c = 7,2 \text{ kg}$$

Kontrola maximální možné odporové přímky, když $k_m = 1,0 \text{ kg/1bm}$, $q_r = 0,6 \text{ kg.m}^{-3}$, $\chi_r = 1,0$, $\delta = 1,2$ potom je maximální odporová úsečka::

$$W_{max} = \sqrt{\frac{k_m}{q_r \chi_r}} \delta$$

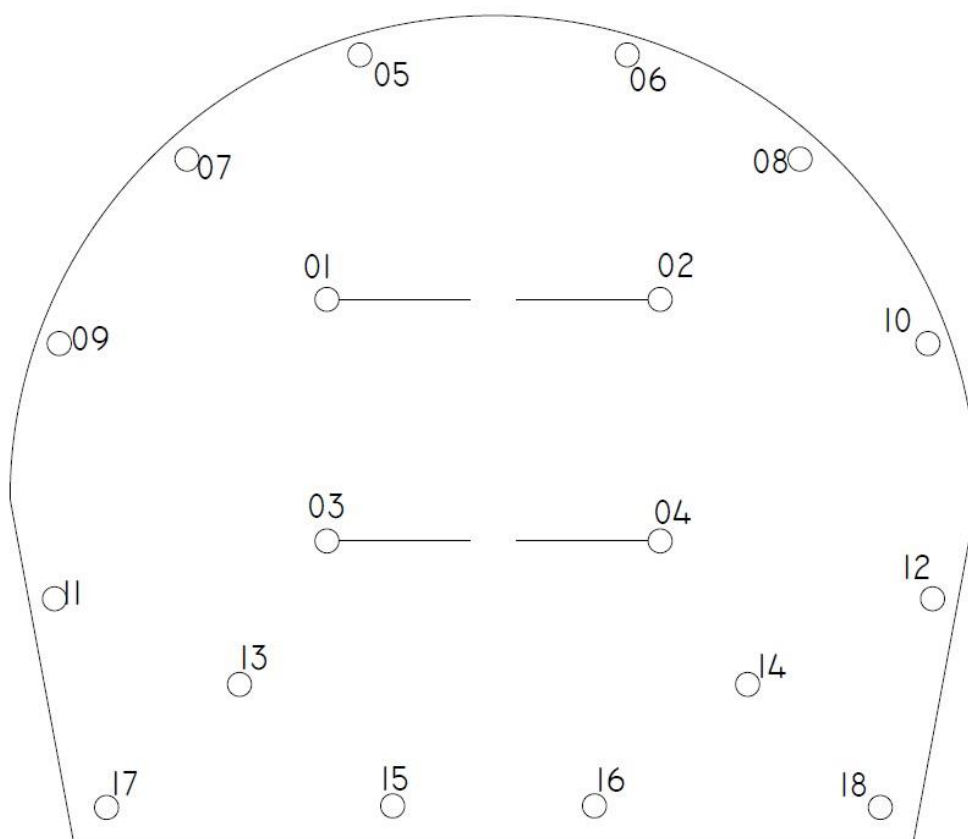
$$W_{max} = \sqrt{\frac{1,0}{1,2 \cdot 1,0}} 1,2$$

$$W_{max} = 1,1 \text{ m} \geq z = 1 \text{ m}$$

Požadovaný záběr vyhověl kontrole.

Použitá trhavina bude EURO DYN 2000, balená v 400 g náložkách o průměru 30 mm a délce 380 mm. Vrtý budou vrtány ručně a budou průměru 35 – 38 mm. Vzhledem k nárokům na seismické zatížení okolí bude na 1 časový stupeň a 1 vrt nabíjeno 400 g trhaviny (vrtné schéma - obr. 22 a pasport nabíjení vrtů – tab. 9 a 10). Časové stupně budou v rozestupu minimálně 100 ms.

Vzhledem k volbě neelektrického roznětu a snížení ekvivalentní hmotnosti nálože o 20 %, lze očekávat snížení seismických účinků na okolí přibližně o 50 %.



Obr. 22 Vrtné schéma, výpočet nálože podle modifikovaného Mečire – Válka

Tab. 9 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle modifikovaného Mečire - Válka

1.	Profil díla		atypický (podkovovitý)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	6,0
3.	Výlom	m ³	6,0
4.	Typ zálomu		klínový
5.	Zabírka	m	1
6.	Počet vývrtů		18
7.	Průměr vývrtů	mm	38
8.	Celková délka všech vývrtů	m	18,8 m
9.	Typ trhaviny		EURODYN 2000
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	7,6
11.	Typ rozbušek		INDETSOCK TS
12.	Celkový počet rozbušek	ks	LP 18 + BC 2 + SF 1
13.	Ucpávka		Vrtná drť, jíl, vodní ucp.
14.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Neelektrický, JR – 1, -
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		-
16.	Bezpečnostní okruh	m	zábor stavby – cca 40 m

Tab. 10 *Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle modifikovaného Mečíře - Válka*

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg]	Časový stupeň
1	38	1,1	70	EURODYN 2000	INDETSOCK TS	35	0,4	1
2		1,1	70					2
3		1,1	70					3
4		1,1	70					4
5		1,0	90					6
6								8
7								10
8								12
9								16
10								18
11								20
12								25
13								26
14								27
15								28
16								29
17								30
18								31

2.4.1 Výpočet nálože podle Langeforse

V tomto řešení se znovu využije klínový zálom, záběr bude $A = 1$ m a použita bude trhavina EURODYN 2000 (400 g, 380 mm, průměr 30 mm).

Nejprve se provede kontrola požadované zabírky, zda vyhoví podmínce z grafu 3. V daném grafu je hodnota maximální zabírky (v rámci šířky tunelu $B = 2$ m) $A_{\max} = 1,5$ m $\geq A = 1,0$ m – navržený záběr vyhověl kontrole.

Nyní se spočte redukovaná odporová úsečka V_1 pro $H = 1,0$ m a $V = 1,0$ m:

$$V_1 = V - 0,1H$$

$$V_1 = 1 - 0,1 \cdot 1$$

$$V_1 = 0,9 \text{ m}$$

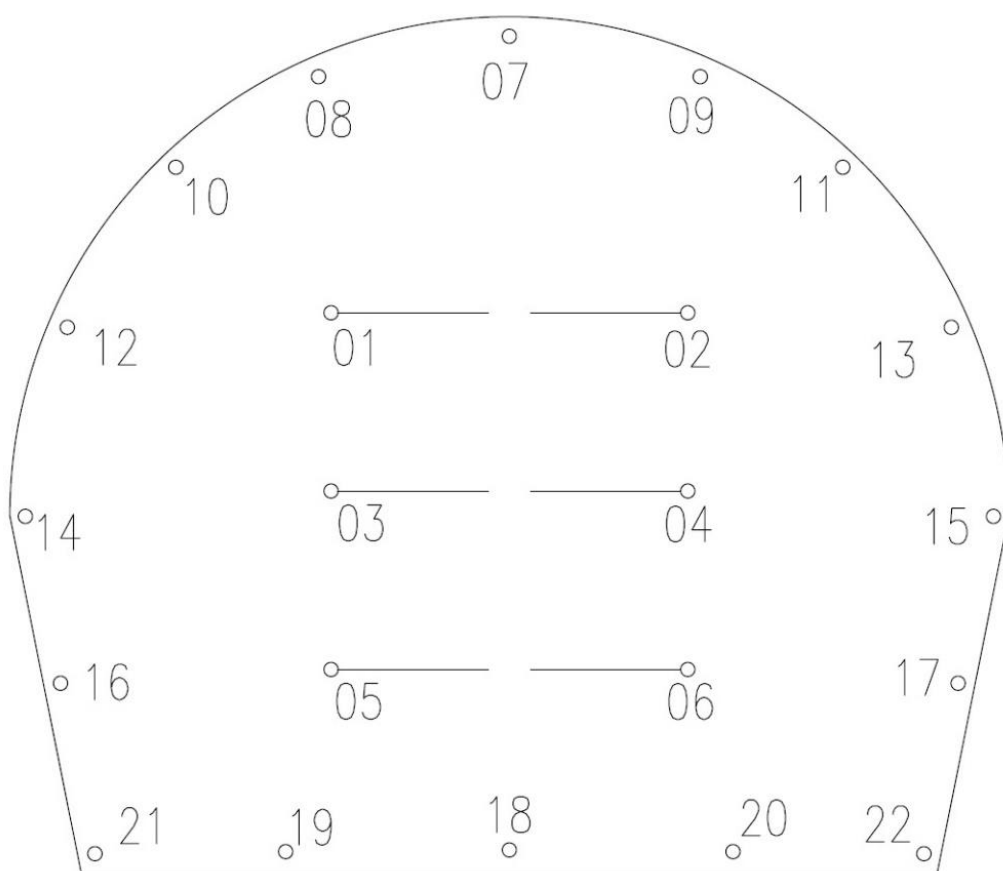
Dalším stanovovaným parametrem bude měrná spotřeba trhavin. Pro klínový zálom se z grafu 5 (pro $\cotg \nu = 2,74$) $q_z = 2,2$ kg.m⁻³. Pro vrty přibírky a obrysu se z grafu 4 stanoví hodnota $q = 0,7$ kg.m⁻³.

Výška zálomu bude 1,0 m a jeho šířka bude 1,0 m. Objem rozpojované horniny v zálomu bude $V_z = 1,0$ m³. Minimální hmotnost trhaviny potřebné k rozpojení horniny v zálomu

$N_z = 2,2$ kg. Vzhledem k balení náložek bude navrtáno 6 zálomových vrtů (délka 1,2 m) a každý bude nabitý 400 g náloží, celkem 2,4 kg (6 ks balení).

Zbývajících část čelby bude mít objem rozpojované horniny $V = 5,0$ m³. Minimální hmotnost trhaviny potřebné k rozpojení tohoto objemu horniny bude $N = 3,5$ kg. Nabíjeno bude 16 vrtů délky 1,0 m náloží o hmotnosti 300 g. Celkem se nabije 4,8 kg trhaviny (12 ks balení).

Celkem bude použito 7,2 kg trhaviny (18 ks balení) v celkem 22 vrtech. Nejmenší rozestup mezi časovými stupni bude 100 ms a na jeden časový stupeň bude nabito maximálně 0,4 kg trhaviny. Souhrn vrtů je vypsán v tabulkách 11 a 12. Na obrázku 23 je ukázáno vrtné schéma.



Obr. 23 Vrtné schéma, výpočet nálože podle Langeforse

Tab. 11 *Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Langeforse*

1.	Profil díla		atypický (podkovovitý)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	6,0
3.	Výlom	m ³	6,0
4.	Typ zálomu		klínový
5.	Zabírka	m	1
6.	Počet vývrtů		22
7.	Průměr vývrtů	mm	38
8.	Celková délka všech vývrtů	m	22,6 m
9.	Typ trhaviny		EURODYN 2000
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	6,0
11.	Typ rozbušek		INDETSOCK TS
12.	Celkový počet rozbušek	ks	LP 22 + BC 2 + SF 1
13.	Ucpávka		Vrtná drť, jíl, vodní ucp.
14.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Neelektrický, JR – 1, -
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		-
16.	Bezpečnostní okruh	m	zábor stavby – cca 40 m

Tab. 12 *Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Langeforse*

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg]	Časový stupeň
1	38	1,1	70	EURODYN 2000	INDETSOCK TS	35	0,4	1
2		1,1	70				0,4	2
3		1,1	70				0,4	3
4		1,1	70				0,4	4
5		1,1	70				0,4	5
6		1,1	70				0,4	6
7		1,0	90				0,3	8
8								10
9								11
10								12
11								13
12								14
13								15
14								16
15								17
16								18
17								19
18								20
19								21
20								22
21								23
22								24

2.4.2 Výpočet nálože podle Olofssona

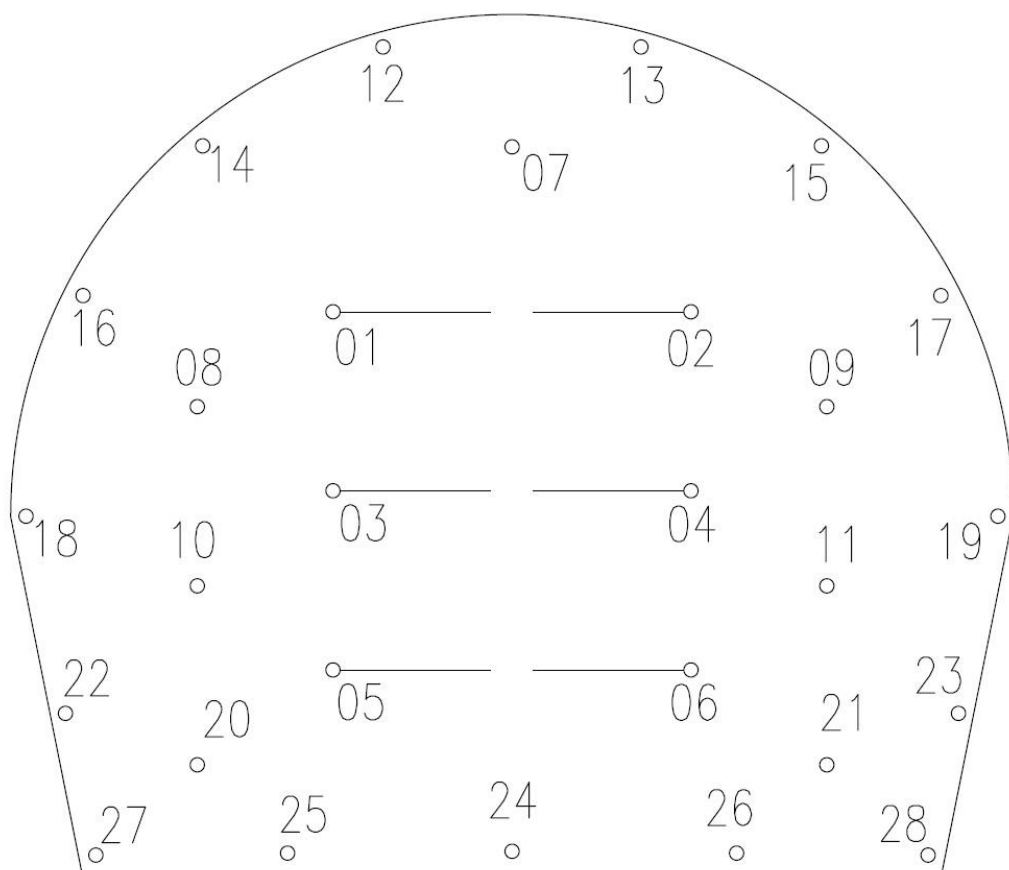
Výpočet podle této metody začíná určením měrné spotřeby trhaviny. Ta se určuje z grafu 6. Záběr bude opět 1 m. Volba typu trhaviny bude stejná jako ve výpočtu nálože podle Mečíře-Válka a Langeforse - EURODYN 2000 průměru 30 mm, 400 g a délky 380 mm (zachování průměru je důležité z důvodu ručního vrtání). Plocha čelby je 6 m². Měrná spotřeba trhaviny bude tedy $q = 2,0 \text{ kg.m}^{-3}$. Odhadovaná hmotnost trhaviny pro rozpojení výrubu bude 12 kg.

Další parametr bude orientační specifická délka vrtů (graf 7), ta je pro zadané parametry cca 5 m.m⁻³. To znamená, že na zadanou čelbu bude vyvrtáno přibližně 30 m vrtů.

Zálom se zvolí klínový. Zálomových vrtů bude 6 se sklonem 70°. Rozteč vrtů $R = 1,0 \text{ m}$, délka vrtů $H = 1,1 \text{ m}$ a výška zálomu bude $C = 1,0 \text{ m}$. Z grafu 10 se odečte koncentrace nálože $l_b = 0,8 \text{ kg.m}^{-1}$. Výška náložky ve vrtu bude alespoň $h_b = 0,4 \text{ m}$ a její koncentrace ve vrtu $l_c = 0,4 \text{ kg.m}^{-1}$. Pro rozpojení zálomu bude dostatečné, když bude v každém vrtu nabita 500 g nálož trhaviny EURODYN 2000 celkem tedy 3 kg trhaviny (7,5 ks balení).

Přibírkových a obrysových vrtů bude celkem 22 a budou mít délku 1 m. Všechny náložky v těchto vrtech budou brány jaké táhlé. Přibírkových vrtů bude celkem 7 z toho 1 stropní a 6 bočních. Obrysových vrtů bude celkem 15. Odporová úsečka každého z nich bude maximálně 0,8 m a tudíž koncentrace nálože (graf 11) $l_b = 0,8 \text{ kg.m}^{-1}$. Pro stropní a boční přibírkové vrty bude $l_c = 0,3 \text{ kg.m}^{-1}$ – v každém vrtu bude tedy 300 g nálož, celkem 2,1 kg (5,25 ks balení). Pro obrysové vrty bude $l_c = 0,3 \text{ kg.m}^{-1}$ – v každém vrtu bude 300 g nálož, celkem 4,5 kg (11,25 ks balení).

Celkově bude nabito 9,6 kg (24 ks balení) trhaviny, což je méně, než byl předpoklad (12 kg). Souhrn spolu s časovými stupni (rozestupy min. 100 ms – max. 0,5 kg trhaviny na časový stupeň) je ukázán v tabulkách 13 a 14. Na obrázku 24 je ukázáno vrtné schéma.



Obr. 24 Vrtné schéma, výpočet nálože podle Olofssona

Tab. 13 Pasport trhacích prací – souhrn technologie, nálož podle Olofssona

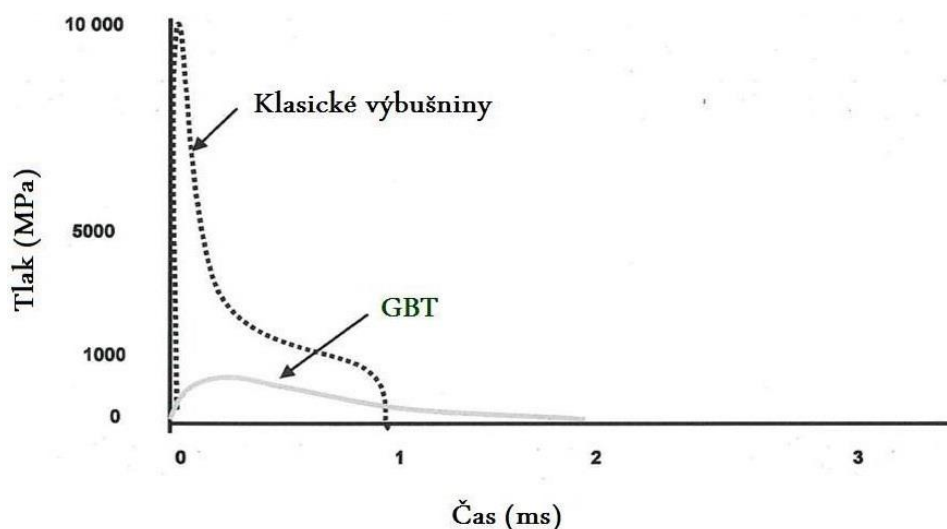
1.	Profil díla		atypický (podkovovitý)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m ²	6,0
3.	Výlom	m ³	6,0
4.	Typ zálomu		klínový
5.	Zabírka	m	1
6.	Počet vývrtů		28
7.	Průměr vývrtů	mm	38
8.	Celková délka všech vývrtů	m	28,6 m
9.	Typ trhaviny		EURODYN 2000
10.	Celková hmotnost trhaviny	kg	9,6
11.	Typ rozbušek		INDETSOCK TS
12.	Celkový počet rozbušek	ks	LP 28 + BC 2 + SF 1
13.	Ucpávka		Vrtná drť, jíl, vodní ucp.
14.	Typ roznětu, roznětnice, ohmmetr		Neelektrický, JR – 1, -
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		-
16.	Bezpečnostní okruh	m	zábor stavby – cca 40 m

Tab. 14 *Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, nálož podle Olofssona*

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Trhavina	Rozbušky	Průměr nálože [mm]	Hmotnost trhaviny [kg]	Časový stupeň
1	38	1,1	70	EURODYN 2000	INDETHOCK TS	35	0,5	1
2		1,1	70				0,5	2
3		1,1	70				0,5	3
4		1,1	70				0,5	4
5		1,1	70				0,5	5
6		1,1	70				0,5	6
7		1,0	90				0,3	8
8								10
9								11
10								12
11								13
12								14
13								15
14								16
15								17
16								18
17								19
18								20
19								21
20								22
21								23
22								24
23								25
24								26
25								27
26								28
27								29
28								30

3 Použití expanzního (neexplozivního) rozpojování GBT

Hlavním principem, na kterém metoda Green Break technology pracuje, je mechanické rozpojování pomocí horkých plynů, vzniklých při hoření pyrotechnické slož, obsažené v nábojce. Princip tohoto rozpojování je podobný jako princip trhacích cementů. Green Break Technology je oproti těmto metodám mnohem rychlejší a účinnější. Po iniciaci elektrického palníku obsaženého v nábojce se zažehne pyrotechnická slož, která svou deflagrací produkuje velké množství horkého plynu – na 1 gram slož je to přibližně 1 litr plynu. Pokud je nábojka umístěna v dostatečně těsném prostředí, dokáže rozpínání produkovaného plynu vyvinout dostatečný tlak pro překročení meze pevnosti v tahu okolní horniny a tím ji narušit. Nejedná se zde tedy o stejný princip jako u výbušnin (tahem působící rázová vlna odražená od volné plochy). Maximální vytvořený tlak se pohybuje do 450 MPa, což je 1000x méně než u konvenčních výbušnin (1200 GPa). Tlak navíc roste postupně, ne náhle, jako při iniciaci například trhavin (graf 12). [14]



Graf 12 *Nárůst tlaků v závislosti na čase po iniciaci (porovnání klasické výbušniny s GBT)*
[15]

Nyní (r. 2016) se již používá pouze výrobek AUTOSTEM I a AUTOSTEM II (obrázek 25 a 26). Oba výrobky jsou pokročilejší generací prvního výrobku GBT, pracují na zcela shodném principu (receptura pyrotechnické slož zůstala nezměněna). Změnila se pouze konstrukce plastového kontejneru slož. Nově obsahuje zámek, který po iniciaci slož utěsňuje výrobek ve vrtu. Není již proto nutné používat ucpávku.



Obr. 25 Výrobky AUTOSTEM I – jeden průměr, různé hmotnosti složí [16]



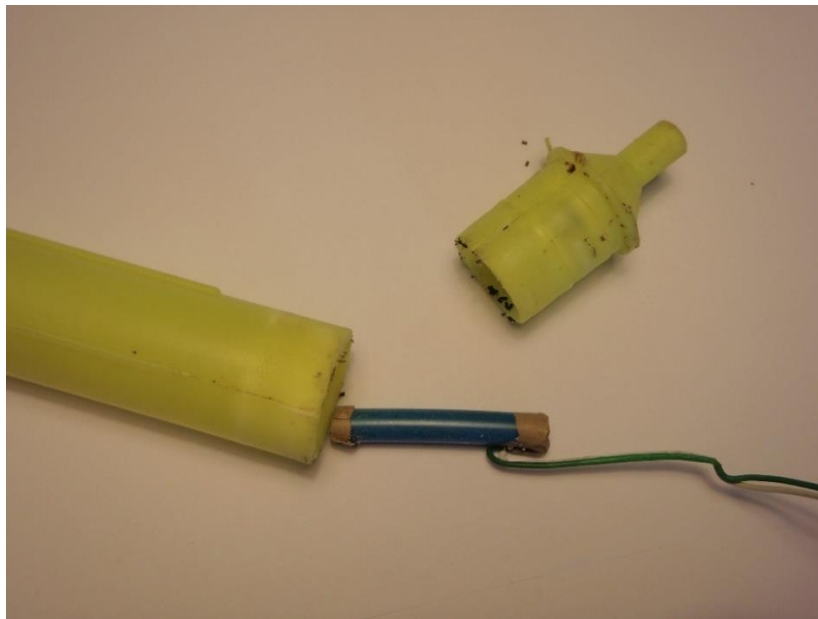
Obr. 26 Výrobky AUTOSTEM II – různé průměry, různé hmotnosti složí a oboustranný zámek [16]

3.1 Způsoby roznětu

Výrobky GBT, AUTOSTEM I a AUTOSTEM II lze iniciovat jakoukoliv elektrickou roznětnicí. Obsahuje elektrický palník (obr. 27) o těchto parametrech:

Tab. 15 *Parametry elektrického palníku ve výrobcích GBT, AUTOSTEM I a AUTOSTEM II*
[15]

Odpor palníku [Ω]	0,4 – 0,45
Proud bezpečný [A]	1,1
Bezpečný impuls [$\text{mJ} \cdot \Omega^{-1}$]	50
Zážehový impuls pro spolehlivý zážeh [$\text{mJ} \cdot \Omega^{-1}$]	70



Obr. 27 *Elektrický palník delaborovaný z expandéru GBT (obdobný je i v expandérech AUTOSTEM I a AUTOSTEM II)*

Expandér lze zpožďovat trojím způsobem. Výrobky samy o sobě neobsahují žádný zpožďovací mechanismus, lze však objednat sérii výrobků s instalovaným zpožďovacím mechanismem přímo ve výrobku. Tento systém umožňuje zpoždění po 1 ms až do celkového času 15 000 ms. Další možností je použití speciální roznětnice AUTOSTEM ETS-II (AUTOSTEM Electronic Timing System II), ke které je možné připojit 4 sériově zapojené větve, každá s nastavitelným zpožděním 0 – 9990 ms (obr. 28). Parametry roznětnice jsou uvedeny v tabulce 16. [15]

Tab. 16 Parametry roznětnice AUTOSTEM ETS II [15]

Maximální napětí [V]:	1000
Maximální proud, jeden výstup [A]:	250
Maximální proud, všechny výstupy [A]:	1000
Maximální energie, jeden výstup [J]:	20
Maximální energie, všechny výstupy [J]:	80
Pracovní čas na jedno nabití akumulátoru [h]:	5
Maximální měřicí proud [mA]:	1,0
Maximální měřicí napětí [V]:	1,0



Obr. 28 Roznětnice AUTOSTEM ETS II [15]

Třetí možností je tzv. externí časování. Před expandér lze na jeden přívodní kabel umístit externí elektronický časovač (obr. 29) a takto upravené expandéry poté zapojit jako při elektronickém roznětu. K roznětu lze také použít roznětnice AUTOSTEM ETS II, s jejíž pomocí se jednotlivé časovače programují. Zpoždění může být nastaveno po 1 ms až do 15 000 ms. [15]



Obr. 29 *Externí elektronický časovač [15]*

Obecně platí, že rozpojování pyrotechnickým expandérem časujeme maximálně na 4-5 stupňů. Jako přívodní vedení pro výrobek AUTOSTEM lze použít dvojlinku používanou i pro klasický elektrický roznět.

3.2 Nežádoucí účinky

Rozlet se předpokládá minimální. Zarážku (1. postup) ve stavební jámě je vhodné zakrýt prkny pro ochranu kabelů a hadic (vystrojení jámy) před vylétajícími částmi expandéru. Poté už není nutné vykonávat žádné opatření.

Akustický tlak expandér nevytváří, není nutné tedy stanovovat žádná opatření.

Hornina v okolí vrtu při expanzním rozpojování není drcena na prach. Díky tomu není okolí stavby tolik zasaženo prachem, jak tomu je při použití konvenčních trhacích prací.

Seismické zatížení způsobené technologií Green Break není do dnešní doby konkrétněji vyjádřeno žádným empirickým vztahem. Samotné otřesy nevznikají působením expandéru, ale pouze puknutím rozpojované horniny. Jsou charakteristické nízkou frekvencí a nízkou amplitudou rychlosti. Dle zatím uskutečněných měření a pozorování lze maximální rychlost vlnění hodně orientačně stanovit pomocí upraveného vztahu z ČSN 73 0040:

$$V_p = 0,3 \cdot K \frac{\sqrt{m_n}}{L} \quad (23)$$

Z tohoto vztahu lze odvodit orientační stanovení maximální hmotnosti složky na jeden čas pro $V_p = 15 \text{ mm.s}^{-1}$, vzdálenosti registru vozidel $L = 12 \text{ m}$ a $k = 250 \text{ m}^2.\text{kg}^{-1/2}.\text{s}^{-1}$:

$$m_n = \left(\frac{V_p L}{0,3k} \right)^2$$

$$m_n = \left(\frac{15.12}{0,3.250} \right)^2$$

$$m_n = 2,4 \text{ kg}$$

3.3 Návrh expanzního (neexplozivního) rozpojení

Vzhledem k vlastnostem rozpojovaných hornin je nutné zvážit, zda bude vůbec možné expanzní rozpojování použít. Horké plyny způsobující tlak na horninu mohou z vrtu uniknout puklinami v břidlicích, tudíž jejich užitečná práce bude nulová. Pro výpočet tedy budou předpokládány idealizované podmínky pro úplné fungování expandéru.

Pro navrhování rozpojování pomocí technologie Green Break platí obecné pravidlo, že poměr spotřeby nábojek vůči spotřebě trhavin pro stejný objem rozpojovaného materiálu je 1,5 dílu hmotnosti složky expandéru k 1 dílu hmotnosti trhaviny. Pro návrh může být pro svou jednoduchost použitý vztah modifikovaného Mečíře-Válka. V případě požadovaného záběru $z = 0,5 \text{ m}$ (záběr byl snížen z důvodu konstrukce nábojek) je objem rozpojované horniny $V = 3 \text{ m}^3$. Měrná spotřeba trhavin bude vyšší (z důvodu použití pyrotechnické složky), než byla stanovena u trhavin $q_r = 1,4 \text{ kg.m}^{-3}$.

$$N_c = q_r V$$

$$N_c = 1,4 \cdot 3$$

$$N_c = 4,2 \text{ kg}$$

Pokud je $k_m = 1,0 \text{ kg/lbm}$, $q_r = 1,8 \text{ kg.m}^{-3}$, $\chi_r = 1,0$ a $\delta = 0,9$, potom je maximální odporová úsečka:

$$W_{max} = \sqrt{\frac{k_m}{q_r \chi_r}} \delta$$

$$W_{max} = \sqrt{\frac{1,0}{1,4 \cdot 1,0}} 0,9$$

$$W_{max} = 0,76 \text{ m} \geq z = 0,5 \text{ m}$$

Požadovaný záběr vyhověl kontrole.

Pro rozpojování budou použity 100 g nábojky výrobku AUTOSTEM I o průměru 32 mm. Vrtý budou mít průměr 34 mm. Celkem bude nabito 42 vrtů.

Expandéry budou iniciovány roznětnicí AUTOSTEM ETS II a časovány budou ve třech okruzích se zpožděním 200 ms na okruh. Každý okruh má délku přívodního vedení 40 m. Přívodní vedení bude měděná dvojlinka $R_{pv} = 0,07 \Omega \cdot m^{-1}$. Jako důkaz spolehlivosti roznětu stačí spočítat pouze okruh s největším počtem zapojených palníků (22 ks, $R_s = 22 \cdot 0,4 \Omega \cdot m^{-1}$). Kontrola spolehlivosti roznětu pro sériové zapojení roznětné sítě:

$$R_c = R_s + R_{pv} \quad (24)$$

R_s – odpor roznětné sítě $[\Omega]$, R_{pv} – odpor přívodního vedení $[\Omega]$

$$R_c = 22 \cdot 0,4 + 2 \cdot 40 \cdot 0,07$$

$$R_c = 14,4 \Omega$$

$$\Sigma = \frac{E_A R_c}{E_R} \cdot 100 \quad (25)$$

E_A – záž. impuls rozbušky $[J \cdot \Omega^{-1}]$, R_c – odpor roznětného vedení $[\Omega]$, E_R – výkon roznětnice $[J]$

$$\Sigma = \frac{0,07 \cdot 14,4}{20} \cdot 100$$

$$\Sigma = 5,04 \%$$

Výkon roznětnice bude vyčerpán pouze z 5,04 %.

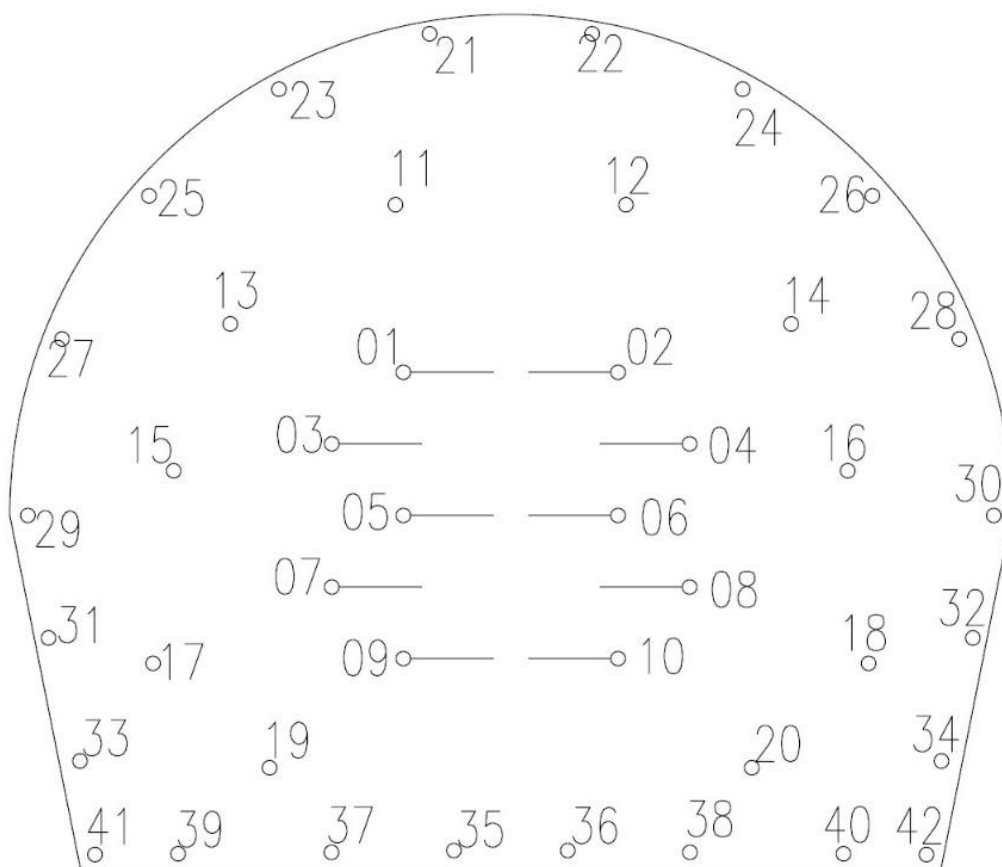
Vrtý se mohou pro jistotu docpat vrtnou drtí. Jiná ucpávka není potřeba, protože AUTOSTEM má samoucpávací mechanismus. Zálom při použití expandéru lze použít pouze klínový. Vrtý budou vrtány a nabíjeny dle pasportů (tab. 17 a 18) a vrtného schématu (obr. 30).

Tab. 17 *Pasport trhacích prací – souhrn technologie, expanzní neexplozivní rozpojování*

1.	Profil díla		atypický (podkovovitý)
2.	Hrubý profil = F_{hr}	m^2	6,0
3.	Výlom	m^3	6,0
4.	Typ zálomu		Klínový
5.	Zabírka	m	0,5
6.	Počet vývrtů		42
7.	Průměr vývrtů	mm	34
8.	Celková délka všech vývrtů	m	23,0 m
9.	Typ		AUTOSTEM I
10.	Celková hmotnost slože	kg	4,2
11.	Typ rozbušek		El. palník
12.	Celkový počet rozbušek	ks	42
13.	Ucpávka		Samoucpávací
14.	Typ roznětu, roznětnice		Elektrický, AUTOSTEM – ETS II
15.	Zapojení při elektrickém roznětu		Sériové – 3 okruhy
16.	Bezpečnostní okruh	m	Zábor stavby – cca 40 m

Tab. 18 Pasport trhacích prací – souhrn vrtů, expanzní neexplozivní rozpojování

Číslo vývrtu	Průměr vývrtu [mm]	Délka vývrtu [m]	Úhel k čelbě [°]	Pyrotechnický výrobek	Iniciace	Průměr expandéru [mm]	Hmotnost jednoho expandéru [kg]	Časový stupeň
1 - 10	34	0,7	60	AUTOSTEM I	Elektrický palník	32	0,1	1
11 - 20		0,5	90					2
21 - 42								3



Obr. 30 Vrtné schéma pro použití expanzního neexplozivního rozpojování

4 Porovnání ceny konvenčních trhacích prací a nevýbušného expanzního rozpojování

Jedním z nejdůležitějších kritérií pro volbu metody rozpojení hornin (zda použít konvenční trhací práce nebo expanzní neexplozivní rozpojování) je cena samotného rozpojení. V níže uvedených tabulkách jsou ukázány orientační rozpočty s jednotkovými cenami pro konvenční trhací práce a nevýbušné expanzní rozpojování:

Tab. 19 *Orientační rozpočet, konvenční trhací práce – výpočet podle modifikovaného Mečíře-Válka, záběr 1 m*

Popis	MJ	Množství	Jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Vrtné práce	bm	18,8	145,00	2 726,00
Rozbuška INDETSOCK TS	ks	18,0	55,00	990,00
Konektor SURFACE	ks	1,0	55,00	55,00
BUNCH CONNECTOR	ks	2,0	100,00	200,00
SHOCKTUBE	m	100,0	2,00	200,00
EURODYN 2000	kg	7,6	55,00	418,00
Celková cena [Kč]:				4 589,00

Tab. 20 *Orientační rozpočet, konvenční trhací práce – výpočet podle Langeforse, záběr 1m*

Popis	MJ	Množství	Jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Vrtné práce	bm	22,6	145,00	3 364,00
Rozbuška INDETSOCK TS	ks	22,0	55,00	1 210,00
Konektor SURFACE	ks	1,0	55,00	55,00
BUNCH CONNECTOR	ks	2,0	100,00	200,00
SHOCKTUBE	m	100,0	2,00	200,00
EURODYN 2000	kg	6,0	55,00	330,00
Celková cena [Kč]:				5 359,00

Tab. 21 *Orientační rozpočet, konvenční trhací práce – výpočet podle Olofssona, záběr 1 m*

Popis	MJ	Množství	Jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Vrtné práce	bm	28,6	145,00	4 147,00
Rozbuška INDETSHOCK TS	ks	28,0	55,00	1 540,00
Konektor SURFACE	ks	1,0	55,00	55,00
BUNCH CONNECTOR	ks	2,0	100,00	200,00
SHOCKTUBE	m	100,0	2,00	200,00
EURODYN 2000	kg	9,6	55,00	528,00
Celková cena [Kč]:				6 670,00

Tab. 22 *Orientační rozpočet, nevýbušné expanzní rozpojování – výpočet podle modifikovaného Mečíře-Válka, záběr 0,5 m*

Popis	MJ	Množství	Jednotková cena [Kč]	Cena celkem [Kč]
Vrtné práce	bm	23,8	145,00	3 451,00
Expandér AUTOSTEM I	ks	42,0	218,00	9 156,00
Celková cena [Kč]:				12 607,00

Závěr

Diplomová práce je zaměřena na provádění trhacích prací při ražbě podzemních staveb. Konkrétně se zabývá nežádoucími účinky způsobenými trhacími pracemi, návrhem trhacích prací a návrhem alternativní metody rozpojení. Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout a porovnat mezi sebou vybrané metody výpočtu hmotnosti nálože pro provádění trhacích prací a ty komparovat s navrženou alternativní metodou rozpojování materiálů.

Praktická část práce se zabývá jednou konkrétní stavbou – „Rekonstrukce kanalizace na ulici Českobrodská“.

V úvodní podkapitole praktické části jsou popsány objekty v okolí stavby a stavba samotná. Následuje popis horninového prostředí s vypracovanými řezy (obr. 14 a 15) horninovým prostředím v místě stavebních jam TŠ 12 a TŠ 13 na základě historického inženýrsko-geologického průzkumu.

Další podkapitola se zabývá ochranou okolních objektů před nežádoucími účinky trhacích prací. Objekty jsou zatříděny podle své odolnosti dle ČSN 73 0040 v tabulce č. 8. Podle tabulky č. 8 jsou vypočteny isoseisty (5 mm.s^{-1} , 10 mm.s^{-1} a 15 mm.s^{-1}), které omezují nejvyšší rychlost kmitání tak, aby nedošlo k poškození okolních objektů.

Podkapitola návrh trhacích prací zahrnuje výpočty hmotností náloží podle metod modifikovaného Mečíře-Válka, Langeforse a Olofssona. Pro všechny metody byl použit klínový zálo, trhavina EUODYN 2000 a neelektrický způsob roznětu.

Celková hmotnost nálože potřebná k rozpojení dané zabírky vypočtená metodou podle modifikovaného Mečíře-Válka byla 7,6 kg. Nejvyšší hmotnost nálože v jednom časovém stupni byla 0,4 kg a do všech vrtů byla nabíjena náložka o stejné hmotnosti. Byly navrženy 4 zálokové vrty, 2 přibírkové vrty a 12 obrysových vrtů.

Hmotnost nálože vypočtená metodou podle Langeforse byla 6,0 kg. Nejvyšší hmotnost nálože v jednom časovém stupni byla 0,4 kg. Zálokové vrty byly nabíjeny náložkami o hmotnosti 0,4 kg a obrysové vrty byly nabíjeny náložkami o hmotnosti 0,3 kg. Bylo navrženo 6 vrtů v zálohu a 16 obrysových vrtů.

Metodou podle Olofssona byla vypočtena celková hmotnost nálože 9,6 kg. Nejvyšší hmotnost nálože v jednom časovém stupni byla 0,5 kg. Zálokové vrty byly nabíjeny náložkami o hmotnosti 0,5 kg, přibírkové a obrysové vrty byly nabíjeny náložkami o hmotnosti 0,3 kg. Bylo navrženo 6 zálomových vrtů, 7 přibírkových vrtů a 15 obrysových vrtů.

Nejnižší celková hmotnost nálože byla stanovena metodou podle Langeforse. U této metody nebyly navrženy žádné přibírkové vrty, tudíž jsou zde delší odporové úsečky mezi vrty.

Z tohoto důvodu je vyšší pravděpodobnost neoptimální kusovitosti rubaniny (příliš velké kusy). Dalším problémem u této metody je nabíjení náložek o dvou různých hmotnostech (možnost záměny).

Druhá nejnižší hmotnost nálože byla vypočtena metodou podle modifikovaného Mečíře-Válka. Byl zde navržen nejnižší počet vrtů (jen 12 obrysových), což může způsobit výraznější nadvýlomy. Výhodou je nabíjení náložek o stejné hmotnosti do všech vrtů. Díky nejnižšímu počtu vrtů vyšly trhací práce dimenzovány metodou podle modifikovaného Mečíře-Válka jako cenově nejpriznivější.

Nejvyšší hmotnost nálože byla vypočtena metodou podle Olofssona. Byl zde navržen také nejvyšší počet vrtů, tudíž jsou zde nejkratší odporové úsečky mezi vrty. To bude způsobovat malou kusovitost rubaniny (velká prašnost) a její velký rozlet (možnost poškození výztuže a výstroje tunelu). I u této metody je problematická rozdílná hmotnost náložek v jednotlivých vrtech. Trhací práce dimenzované metodou podle Olofssona jsou v tomto případě kvůli nejvyššímu počtu vrtů a nejvyšší navržené hmotnosti trhaviny nejdražší.

Ve třetí kapitole byla navržena alternativní metoda rozpojování pomocí expandéru AUTOSTEM I. Tento výrobek nelze iniciovat jinak než elektricky (elektronicky). Seismické zatížení způsobené expandérem bude přibližně desetkrát menší než zatížení způsobené konvenční trhavinou. Rozlet rubaniny bude minimální. Nedochozí k drčení rozpojovaného materiálu, tudíž bude nižší prašnost při použití expandéru než při použití konvenční trhaviny. Požadovanou zabírku bylo nutno zkrátit na 0,5 m. Navržený zálom byl klínový. Hmotnost celkové složky byla 4,2 kg. Navrženo bylo použití 42 expandérů, každý o hmotnosti 0,1 kg. Ty byly nabity do 10 zálomových vrtů, 10 přibírkových vrtů a 22 obrysových vrtů. Celkové náklady na provedení rozpojování dané čelby neexplozivním expanzním rozpojováním byly šestkrát vyšší než při použití konvenční trhaviny. Použití expandérů je ekonomicky náročné, vhodné pro nepravidelné rozpojování nebo při vhodných podmínkách (např. při zákazu provádění trhacích prací).

Použité zdroje

- [1] STOLÁRIK, Martin. *Studium seizmických projevů v okolí ražby mělkých podzemních děl*. Ostrava, 2011. Disertační práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební. Vedoucí práce Kaláb, Zdeněk.
- [2] PANDULA, Blažej a Julián KONDELA. *Metodológia seizmiky trhacích prác*. Košice: DEKI Design, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-970265-0-9.
- [3] PRAVDA, Vladimír a BĚTÍK Jiří. *Trhací práce v hornictví, stavebnictví a speleologii*. Jesenice u Prahy: Montanika, 2010, 197 s. ISBN 978-80-254-8542-2.
- [4] ČSN 73 0040. *Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva*. 1996. vyd. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.
- [5] PRAVDA, Vladimír. *Zkušenosti z použití elektronických rozbušek a nabíjecích vozů ražba tunelů Blanka, Praha*. Praha, 2014.
- [6] DOJČÁR, Ondrej, HORKÝ Jiří a KORÍNEK Robert. *Trhacia technika*. Ostrava: Montanex, 1996, 421 s. ISBN 80-85780-69-0.
- [7] MÜNCNER, Eduard. *Príručka pre strelmajstrov a technických vedúcich odstrelův*. Banská Bystrica: SSTVP, 2011. ISBN 80-968748-4-5.
- [8] MEČÍŘ, Roman a Dušan VÁLEK. *Novodobá vrtací a trhací technika*. 2., přepracované a rozšířené vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1969. Řada hornické literatury.
- [9] LANGEFORS, Ulf a Björn KIHLESTRÖM. *The modern technique of rock blasting*. 3d ed. New York: Wiley, c1978. ISBN 04-709-9282-4.
- [10] OLOFSSON, Stig. *Applied explosives technology for construction and mining*. 2nd ed. Arla, Sweden: Applex, 1991. ISBN 91-797-0634-7.
- [11] Vyhláška ČBÚ č. 72/1988 Sb., o používání výbušnin. In: *Sbírka zákonů 1988*. 1988.
- [12] Zákon ČNR č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě. In: *Sbírka zákonů 1988*. 1988.
- [13] KALÁB, Zdeněk. *Seizmická měření v geotechnice: monografie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1796-5.

- [14] PRAVDA, Vladimír a Jaromír AUGUSTA. Nábojky pro nevýbušné rozpojování materiálů. *Zpravodaj TP*. 2012, (1), 17-20.
- [15] *Green Break Technology CZ s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.greenbreaktechnology.cz/>
- [16] *HIGH PERFORMANCE NON-DETONATING CARTRIDGES* [online]. Cape Town, South Africa: The AutoStem Company (Pty) Ltd, 2017 [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <http://www.autostemtechnology.com/>

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma šíření <i>P</i> vln, <i>S</i> vln, Rayleigho vln a Loveho vln [2]	13
Obr. 2 Princip mechanismu odštěpu [3]	14
Obr. 3 Schéma elektrické rozbušky [3]	21
Obr. 4 Schéma neelektrických rozbušek [3]	24
Obr. 5 Porovnání vibrogramů různých způsobů roznětu [5]	26
Obr. 6 Tvary typů volných ploch [9]	30
Obr. 7 Konstrukce klínového zálomu [10]	36
Obr. 8 Situace stavby - schéma	38
Obr. 9 Novější část registru vozidel	39
Obr. 10 Ulice Osiková, na levé straně starší část registru vozidel	40
Obr. 11 Bytové domy	40
Obr. 12 Příčný průřez ražby	41
Obr. 13 Situace stavby s vyznačenými vrty a řezy horninovým prostředím	43
Obr. 14 Řez 1 – horninové prostředí v místě TŠ 12	43
Obr. 15 Řez 2 – horninové prostředí v místě T3 13	44
Obr. 16 Výřez úseku TŠ 12 – TŠ 13 z podélného řezu ražbou s orientačním složením horninového prostředí	45
Obr. 17 Předpokládané a skutečné složení horninového masivu v místě TŠ 12	45
Obr. 18 Schéma navržených isoseist	47
Obr. 19 Zakrytí čelby „finským“ kobercem	48
Obr. 20 Zažehnuté detonační trubičky rozbušek INDETSHOCK TS	49
Obr. 21 Použití „vodních“ ucpávek	49
Obr. 22 Vrtné schéma, výpočet nálože podle modifikovaného Mečíře – Válka	51
Obr. 23 Vrtné schéma, výpočet nálože podle Langeforse	53
Obr. 24 Vrtné schéma, výpočet nálože podle Olofssona	56
Obr. 25 Výrobky AUTOSTEM I [16]	599
Obr. 26 Výrobky AUTOSTEM II [16]	59
Obr. 27 Elektrický palník delaborovaný z expandéru GBT	60
Obr. 28 Roznětnice AUTOSTEM ETS II [15]	61
Obr. 29 Externí elektronický časovač [15]	622
Obr. 30 Vrtné schéma pro použití expanzního neexplozivního rozpojování	666

Seznam grafů

Graf 1 <i>Útlum seismických vln v závislosti na poměrnou vzdálenost od zdroje [2]</i>	15
Graf 2 <i>Závislost teploty můstku na průchodu elektrického proudu [3]</i>	22
Graf 3 <i>Stanovení maximálního záběru v závislosti na typu zálomu a šířce tunelu [9]...</i>	31
Graf 4 <i>Graf obecného stanovení měrné spotřeby trhavin q [kg/m^3] [9]</i>	32
Graf 5 <i>Graf měrné spotřeby trhavin q [kg/m^3] pro klínový zálom [9]</i>	32
Graf 6 <i>Určení základní měrné spotřeby trhavin podle Olofssona [10]</i>	33
Graf 7 <i>Určení celkové délky vrtů [$\text{m} \cdot \text{m}^{-3}$] [10]</i>	34
Graf 8 <i>Stanovení geometrie vrtů a koncentrací náloží u prvního čtverce zálomu [10]..</i>	34
Graf 9 <i>Stanovení geometrie vrtů a koncentrací náloží u dalších čtverců zálomu [10] ..</i>	35
Graf 10 <i>Stanovení geometrie a koncentrace nálože u klínového zálomu [10]</i>	36
Graf 11 <i>Stanovení geometrie a koncentrace nálože u přibírkových a obrys. vrtů [10]</i> .	37
Graf 12 <i>Nárůst tlaků v závislosti na čase po iniciaci [15]</i>	58

Seznam tabulek

Tab. 1	<i>Orientační hodnoty konstanty přenosu prostředí K [$\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1/2} \cdot \text{s}^{-1}$] [4]</i>	19
Tab. 2	<i>Tabulka určení měrné spotřeby trhavin q_r [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] [8]</i>	27
Tab. 3	<i>Tabulka určení opravného součinitele pro ražení $\chi_r = a \cdot b$ [8]</i>	28
Tab. 4	<i>Tabulka určení součinitelů η_v a c [8]</i>	28
Tab. 5	<i>Pravidla pro rozmisťování vrtů na čelbu [3]</i>	29
Tab. 6	<i>Tabulka parametrů přibírkových a obrysových vrtů [10]</i>	37
Tab. 7	<i>Orientační technické vlastnosti zastižených libeňských břidlic</i>	42
Tab. 8	<i>Soupis objektů v okolí stavby a jejich zatřídění dle ČSN 73 0040</i>	46
Tab. 9	<i>Pasport trhavých prací – souhrn technologie, podle modifikovaného Mečíře - Válka</i>	51
Tab. 10	<i>Pasport trhavých prací – souhrn vrtů, podle modifikovaného Mečíře - Válka</i>	52
Tab. 11	<i>Pasport trhavých prací – souhrn technologie, podle Langeforse</i>	54
Tab. 12	<i>Pasport trhavých prací – souhrn vrtů, podle Langeforse</i>	54
Tab. 13	<i>Pasport trhavých prací – souhrn technologie, podle Olofssona</i>	56
Tab. 14	<i>Pasport trhavých prací – souhrn vrtů, podle Olofssona</i>	57
Tab. 15	<i>Parametry elektrického palníku ve výrobcích GBT, AUTOSTEM I a AUTOSTEM II [15]</i>	60
Tab. 16	<i>Parametry roznětnice AUTOSTEM ETS II [15]</i>	611
Tab. 17	<i>Pasport trhavých prací – souhrn tech., expanzní neexplozivní rozpojování</i>	655
Tab. 18	<i>Pasport trhavých prací – souhrn vrtů, expanzní neexplozivní rozpojování</i>	666
Tab. 19	<i>Orientační rozpočet, konvenční trhavé práce – výpočet podle modifikovaného Mečíře-Válka</i>	677
Tab. 20	<i>Orientační rozpočet, konvenční trhavé práce – výpočet podle Langeforse</i>	677
Tab. 21	<i>Orientační rozpočet, konvenční trhavé práce – výpočet podle Olofssona</i>	688
Tab. 22	<i>Orientační rozpočet, nevýbušné expanzní rozpojování – výpočet podle modifikovaného Mečíře-Válka</i>	688

Seznam rovnic

(1) Rovnice výpočtu rychlosti šíření podélných vln c_p [$m.s^{-1}$] [2]	15
(2) Výpočet rychlosti šíření příčných vln c_s [$m.s^{-1}$] [2]	15
(3) Rovnice výpočtu rychlosti šíření Rayleigho vln c_R [$m.s^{-1}$] [2]	16
(4) Rovnice výpočtu hmotnosti ekvivalentní nálože m_n [kg] [4]	18
(5) Výpočet rychlosti kmitání hmotného bodu V_p [$mm.s^{-1}$] [4]	18
(6) Výpočet ekvivalentní hmotnosti nálože m_n [kg] pro $\Delta t \leq 0,1$ s [4]	18
(7) Výpočet ekvivalentní hmotnosti nálože m_n [kg] pro $\Delta t \geq 0,1$ s [4]	18
(8) Výpočet ekvivalentní hmotnosti nálože m_n [kg] pro 2 a více vrtů se stejným časovým stupněm [4]	18
(9) Výpočet akustického tlaku P_{max} [kPa] [3]	19
(10) Výpočet bezpečné vzdálenosti od zdroje akustického tlaku L [m] [3]	20
(11) Výpočet orientačního poloměru bezpečnostního okruhu r_b [m] [3]	20
(12) Výpočet hmotnosti celkové nálože N_c [kg] [8]	27
(13) Výpočet maximálního směrného odporu W_{max} [m] [8]	27
(14) Výpočet hodnoty H_r [-] [8]	28
(15) Ukazatel výtrže i [-] [8]	29
(16) Hmotnost nálože pro klínový zálom N_z [kg] [8]	29
(17) Výpočet hmotnosti celkové nálože N_c [kg] [3]	29
(18) Výpočet maximálního směrného odporu W_{max} [m] [3]	30
(19) Výpočet koncentrace nálože - válcová volná plocha l_a [$kg.m^{-1}$] [9]	31
(20) Výpočet koncentrace nálože - obdélníková volná plocha l_b [$kg.m^{-1}$] [9]	31
(21) Výpočet redukované odporové úsečky V_1 [m] [10]	31
(22) Výpočet měrné spotřeby trhavin - q [kg/m^3] [10]	33
(23) Upravený vztah pro GBT z ČSN 73 0040 – výp. rychlosti kmitání V_p [$mm.s^{-1}$]	62
(24) Výpočet odporu roznětného vedení R_c [Ω] [3]	64
(25) Výpočet čerpání výkonu roznětnice Σ [%] [3]	64